

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-298516

(P2003-298516A)

(43) 公開日 平成15年10月17日 (2003. 10. 17)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M 5 K 1 0 2
10/18			E
H 0 4 J 14/00			
14/02			

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2002-98074 (P2002-98074)

(22) 出願日 平成14年3月29日 (2002. 3. 29)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 大井 寛己

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100074099

弁理士 大菅 義之 (外1名)

最終頁に続く

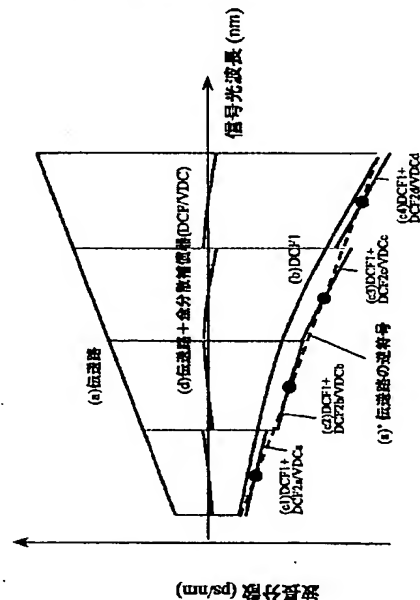
(54) 【発明の名称】 波長分散補償装置

(57) 【要約】

【課題】できるだけ低コストで、残留分散をできるだけ小さくできる波長分散補償装置とその配置構成を提供する。

【解決手段】伝送路を光信号が伝搬することによって受ける波長分散と、この波長分散を補償するために使用される分散補償器によって光信号に与えられる波長分散スロープとが合わさった波長分散を光信号の波長帯域全体に渡って補償する場合、該波長帯域を複数の小帯域に分割し、各帯域の中心波長における波長分散が0となるように波長分散補償を行う。

本発明の実施形態の原理を説明する図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】波長多重光伝送システムにおいて、波長多重光信号を複数の波長帯に分離する帯域分割手段と、

分離された波長多重光信号に対して残量分散の補償を行う固定分散補償手段と、

を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【請求項2】波長多重光伝送システムにおいて、波長多重光信号を複数の波長帯に分離する帯域分割手段と、

分離された該波長多重光信号に対して一括して分散補償を行う可変分散補償手段と、を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【請求項3】前記帯域分散手段の前段に、前記波長多重光信号を分岐し、チャネル間隔を拡大した複数の光信号に変換するインタリーブ手段を更に備えることを特徴とする請求項1または2に記載の波長分散補償装置。

【請求項4】波長多重光伝送システムにおいて、全て、または、一部の波長多重光信号に対して、一括して分散補償を行う可変分散補償手段と、該波長多重光信号を分割する光分波手段と、該分離された各チャネルの光信号に対して、残留分散の補償を行う固定分散補償手段と、を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【請求項5】前記光分波手段は、前記波長多重光信号を複数の波長帯域に分割することを特徴とする請求項4に記載の波長分散補償装置。

【請求項6】前記光分波手段は、前記波長多重光信号を各チャネル毎の光信号に分波することを特徴とする請求項4に記載の波長分散補償装置。

【請求項7】波長多重光伝送システムにおいて、波長多重光信号を複数の波長帯に分離する帯域分割手段と、

分離された波長帯域の各々に対して帯域間残留分散差を低減するための分散補償手段と、を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【請求項8】前記波長多重光システムに、前記波長分散補償装置を含むインライン中継器と該波長分散補償装置を含まないインライン中継器とを混在させることを特徴とする請求項7に記載の波長分散補償装置を使った波長多重光伝送システム。

【請求項9】多中継光伝送システムにおいて、各インラ

$$\begin{aligned} & \text{(波長分散変化量)} = \text{(零分散波長の温度依存性)} \times \text{(伝送路の温度変化量)} \times \\ & \text{(伝送路の分散スロープ)} \times \text{(伝送距離)} \\ & = 0.03 \text{ (nm/}^\circ\text{C)} \times 100 \text{ (}^\circ\text{C)} \times 0.07 \text{ (ps/nm}^2\text{/km)} \times 5 \\ & 00 \text{ (km)} \\ & = 105 \text{ ps/nm} \end{aligned}$$

この自動分散システムは、SMF伝送路だけでなく、1.55 $\mu\text{m}$ 零分散シフトファイバ(DSF)やNZ-DSF伝送路を用いたシステムでも不可欠である。

\* イン中継器に、

該インライン中継器の前段のインライン中継区間の波長分散量を105%~120%だけ過補償する分散補償手段を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【請求項10】前記多中継光伝送システムにおいては、受信端において、総分散量を零近傍になるように補償することを特徴とする請求項9に記載の波長分散補償装置。

【発明の詳細な説明】

10 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システムにおいて、今後の更なる大容量化・高速化・長距離化を実現するための波長分散補償装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年の急激なネットワーク利用の増加により、更なるネットワークの大容量化の要求が高まっている。現在は、1チャネル当たり伝送速度10Gb/sをベースとした波長多重(WDM)光伝送システムの実用化が開始されているが、今後、更なる大容量化が必要とされ、周波数利用効率とコストの点から1チャネルあたり40Gb/s以上の超高速伝送システムが求められている。超高速伝送システムにおいては、伝送路の分散補償による波形劣化を高精度に補償する必要がある。

【0003】伝送速度10Gb/s以上の光伝送システムにおいて、波長分散トレランスが非常に小さく、例えば40Gb/s NRZ方式の波長分散トレランスは100ps/nm以下である。これに対し、陸上光伝送システムの場合、中継区間は必ずしも一定ではなく、約17ps/nm/kmの1.3 $\mu\text{m}$ 零分散シングルモードファイバ(SMF)を用いたシステムの場合、数km異なっただけで、波長分散トレランスを逸脱してしまう。しかし、通信キャリアが所有する光ファイバネットワークにおいては、現状、中継区間毎の距離や波長分散値の多くは、正確に把握されていない。また、波長分散値はファイバ温度や応力等により経時的に変化するために、システム運用開始時だけでなく、システム運用中も波長分散量を厳密に測定しながら、中継区間毎の分散補償量の適切な設定が必要とされる。例えば、DSF(Dispersion Shifted Fiber)500km伝送路において100 $^\circ\text{C}$ の温度変化が生じる場合、波長分散変化量は40Gb/s NRZ信号の波長分散トレランスとほぼ同等の約105ps/nmとなる。

【0004】また、波長多重信号を送信する場合、波長分散のみならず、分散スロープをも考慮する必要がある。図32は、波長多重伝送システムの構成例を、図3

3は、各種変動要因による伝送路波長分散量の変化を示す図である。

【0005】図32の構成においては、送信端局の光送信機#1～#nから、それぞれの波長の光信号を送出され、光合波器で合波され、光ポストアンプにおいて合波された光信号が増幅されて出力される。この光ポストアンプの光信号の増幅処理のときに、分散補償量が固定あるいは可変の送信分散補償器によって、光信号に対して分散補償がなされている。ファイバ伝送路を伝送している光信号は、ファイバ伝送路の途中にある線形中継器の光インラインアンプによって伝送路損失を補うための増幅を受ける。また、この光インラインアンプによる増幅の際に、伝送路を伝搬した結果光信号が受けた波長分散の補償がインライン分散補償器によって行われる。インライン分散補償器は、分散補償量が固定でも可変でも良い。そして、更に光信号は、ファイバ伝送路を線形中継器を介して伝搬され、受信端局装置に入力される。

【0006】受信端局装置においては、光ブリアンプによって、伝搬してきた光信号の減衰を補償するための増幅を受ける。このとき、受信分散補償器によって、受信端での分散補償も行われる。そして、伝搬してきた光信号は、光分波器によって各波長に分波される。各波長に分波された光信号は、例えば、可変分散補償器によって残留分散が取り除かれ、光受信機#1～#nによって受信される。ここで、可変分散補償器が括弧の中に入っているのは、必ずしも必要ではないという意味であり、設計の詳細によって、設計者が可変分散補償器を含めるか否かを決定することができるものである。以下の図においても、構成図の中で構成要素が括弧に入っている場合には、設計者の裁量によって含めても含めなくてもよい構成要素であることを示す。

【0007】光信号の波長分散の温度変化に関しては、図33に示すように、零分散波長の温度変化(約0.03nm/°C)により、波長分散特性(a)は(c)へとシフトする。この場合、分散スロープは変化しない。また、伝送距離が異なる場合には、波長分散特性(a)は(b)のように変化する。この場合、分散量と共に分散スロープ(傾き)も変化する。また、実際の伝送路ファイバ(及び分散補償ファイバ(DCF:Dispersion Compensation Fiber))においては、ファイバの製造能力の問題から、同じ伝送路長であっても、波長分散値((a)→(c))及び分散スロープ((a)→(d))がばらつきを持つ。

【0008】波長分散及び分散スロープを補償する手段としては、以下の方法が考えられる。

(a)波長分散量と分散スロープ量を独立に可変できる広帯域の可変分散補償器を実現して、全波長信号の分散補償を一括して行う。

(b)波長分散量を可変できる広帯域の可変分散補償器と、分散スロープ量を可変できる広帯域の可変分散ス

ロープ補償器を独立に配置して、全波長信号の分散補償を一括して行う。

(c)波長分散量を可変できる広帯域の可変分散補償器と、伝送路のスロープ量に応じた分散スロープ量の固定分散スロープ補償器を独立に配置して、全波長信号の分散補償を一括して行う。

(d)波長分散量を可変できる可変分散補償器を各チャネル個別に配置して、分散補償を行う。

(a)～(d)の選択において、最もポイントになるのが、可変分散補償器の実現性となる。

【0009】図34は、可変分散補償器の例としてのVIPA(Virtually Imaged Phased Array)を示す図である。VIPAに関する文献としては、M. Shirasaki et al., "Variable Dispersion Compensator Using the Virtually Imaged Phased Array(VIPA) for 40-Gbit/s WDM Transmission System", ECOC 2000, Post-deadline paper 2.3.などを参照されたい。

【0010】VIPAを用いた分散補償装置においては、3次元ミラーをx軸の方向に移動させることによって、分散補償量を $-800\text{ps/nm}$ から $+800\text{ps/nm}$ の範囲で連続的に変化させることができる。

【0011】図35は、VIPA可変分散補償器の透過特性と群遅延特性を示す図である。同図上の透過率の特性は、VIPAにおいては、波長軸方向に周期的な透過率を示していることが示されている。従って、波長多重光(WDM光)の各波長の光信号が、この透過率の高い部分、すなわち、透過率のウィンドウを通過するように設計する必要がある。また、群遅延の図では、群遅延が周期的に光信号に与えられることが示されている。同図によれば、透過率のウィンドウが空いている部分の群遅延の傾きは、右肩下がりとなっており、ウィンドウを通過した光信号に負の分散を与えるようになっていることが分かる。

【0012】例えば、VIPAは、透過特性が周波数間隔200GHz(波長間隔1.6nm)の周期構造になるように設計されており、WDM信号の一括補償に有利である。ただし、VIPAは、分散スロープを補償することはできない。そこで、波長分散及び分散スロープを一括で補償するために、VIPA分散補償器と分散補償ファイバを組み合わせる方式を提案したのが、特願2000-238349である。

【0013】図36は、VIPA可変分散補償器群遅延特性を示す図である。同図上のVIPAを用いた可変分散補償器においては、3次元ミラーをx軸方向に移動することにより、同図下に示されるような群遅延の傾きの変化が得られる。分散は、群遅延の波長に関する微分によって得られるので、3次元ミラーを移動することによって、チャネル帯域全体に渡って、一括の分散補償を、必要に応じて可変して、行うことができる。

【0014】図37は、従来技術の受信端局の構成例を

示す図である。同図の構成例においては、伝送路長さ（伝送路分散スロープ）に合わせた分散スロープ量を持ったDCFを配置し、分散スロープの補償を行っている。更に伝送路+DCFによって生じる波長分散をVIPA可変分散補償器を用いて一括補償をおこなっている。VIPAは、図35に示すとおり、透過帯域を確保するために、200GHz間隔の周期構造を持っている。現在御超高密度WDM伝送システムにおいては、100GHz（波長間隔0.8nm）が要求されている。そのため、図36においては、100GHz間隔の受信信号をインタリーバを用いて200GHz間隔の偶数チャネル・奇数チャネルに分離し、各々にVIPA分散補償器を配置して一括分散補償を行っている。インタリーバは、図38に示すように、透過率のウィンドウが、所定の周期（今の場合、200GHz）毎に空いており、同図の実線は、奇数チャネルを抽出するウィンドウであり、同図の点線は偶数チャネルを抽出するウィンドウとなっている。このように、インタリーバは、波長多重されている光信号を交互に間引き、偶数チャネルと奇数チャネルというように、光信号を分離し、各チャネルの間隔を分離された後の光信号において、広げるものである。

【0015】ただし、同構成を用いても、伝送路+DCFの分散スロープの波長依存性による問題があり、分散の一括補償を困難にさせている。図39は、ファイバ伝送路における分散特性の典型例を示す図である。

【0016】主にDCFにおいて、製造上の問題から、分散スロープの波長依存性による分散のカーブを生じる（ただし、伝送路ファイバ側は、ほぼ直線的な分散特性を持っている）。そのため、伝送路+DCFにおいて、分散スロープの波長依存性による残留分散を生じる。長距離伝送においては、この残留分散が、40Gb/s信号の分散トレランスを超えるような大きい値になるため、図37のままの構成では一括補償は困難である。

【0017】また、自動分散補償システムの実現のためには、伝送路で受けた波長分散量（およびスロープ量）を検出する分散モニタの実現も重要である。分散モニタ法の例としては、受信ベースバンド信号中の特定周波数成分強度を用いる方法がある。

【0018】図40は、40Gb/s NRZ信号における受信ベースバンド信号中の40GHz成分強度を検出した結果を示す図である。

出典：Y. Akiyama et al., "Automatic Dispersion Equalization in 40 Gbit/s Transmission by Seamless-switching between Multiple Signal Wavelengths", ECOC'99, pp.1-150-151

左側の計算結果の図から分かるように、波長分散量に従って40GHz成分強度が変化し、分散量零のときに40GHz成分強度が零になる。また、右側のDSF100km伝送における実験結果の図においては、波長によ

って伝送路分散量が変化するために、計算結果と同様の40GHz成分強度特性が得られる。伝送路零分散波長は伝送路温度の変化と共に、約0.03nm/°Cで変化するが、40GHz成分強度モニタの極小点もそれに追従して変化していることが確認できる。他の変調方式でも、Bb/s変調信号に対してBHz成分強度を波長分散モニタとして用いることができることが分かっており、例えばRZ信号に関しては、波長分散零のときにBHz成分強度が極大となり、OTDM信号に対しては極小となることが知られている（特願平9-224056号）。

【0019】また、別の手段としては、各光受信機で検出する符号誤り率特性やQ値をモニタする方法も考えられる。波長多重システムにおいて、低コストな分散モニタを実現するためには、分散モニタの配置方法が重要である。例えば、図33(a)または(b)の場合には、信号波長帯域の両端の波長信号など、最低2つの信号での波長分散量を検出できれば、外挿によって分散スロープが分かり、他の信号波長における波長分散量が検知できる。

【0020】また、(c)の場合には、温度変動によって伝送路の分散スロープ量は変化しないため、信号波長帯域の中心の波長信号など、最低1つの信号での波長分散量を検出できれば、その波長分散量と既知の分散スロープ量から、他の信号波長における波長分散量が検知できる。

【0021】(d)の場合においても、分散スロープ量（または伝送路長）が既知の場合は、最低1つの波長信号での波長分散値が、分散スロープ量が未知の場合は、最低2つの波長信号での波長分散値が検出できれば、外挿によって他の信号波長における波長分散量が検知できる。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術の問題点を以下にまとめる。伝送速度10Gb/s以上の光伝送システムにおいて、波長分散トレランスが非常に小さく、例えば40Gb/s NRZ方式の波長分散トレランスは約70ps/nm以下である。これに対し、伝送路ファイバの波長分散に関しては、以下の変動要因がある。波長多重信号を伝送する場合、波長分散のみならず、分散スロープをも考慮する必要がある。

(1) 伝送路長の違い

陸上光伝送システムの場合、中継区間は必ずしも一定ではなく、約17ps/nm/kmの1.3μm零分散シングルモードファイバ(SMF)を用いたシステムの場合、数kmことになっただけで、波長分散トレランスを逸脱してしまう。しかし、通信キャリアが所有する光ファイバネットワークにおいては、現状、中継区間毎の距離や波長分散値の多くは、正確に把握されていない。図33に示されるように、伝送距離が異なる場合には、波長

分散特性 (a) は (b) のように変化する。この場合、分散量と共に分散スロープ (傾き) も変化する。

(2) 分散補償ファイバ (DCF) のスロープ補償率の不完全性

波長多重信号を一括して、分散補償及び分散スロープ補償を行うためには、伝送路と一致した分散スロープ率

(分散スロープ係数/波長分散係数) の分散補償ファイバを用いる必要がある。しかし、特に、波長分散係数の小さいNZDSFファイバ (Enhanced LEAF, TrueWave Plus, TrueWave Classic等) のファイバにおいては、設計原理上、スロープ補償率50~60%のDCFしか製造できないという問題がある。

【0023】図41は、分散スロープバラツキによる伝送路波長分散変動を示す図である。図41において、伝送路の分散スロープ特性 (a) を100%補償するためには、DCFとしては、その逆符号の特性 (a)' に一致することが理想である。しかし、実際には、(a)' ほど大きいスロープ補償率が得られず、(b) のようになる。その結果、伝送路+DCFとしては、(c) に示すような残留分散を生じることになる。

(3) 伝送路ファイバ及び分散補償ファイバ (DCF) \*

$$\begin{aligned} & (\text{波長分散変化量}) = (\text{零分散波長の温度依存性}) \times (\text{伝送路の温度変化量}) \times \\ & (\text{伝送路の分散スロープ}) \times (\text{伝送距離}) \\ & = 0.03 (\text{nm}/^{\circ}\text{C}) \times 100 (^{\circ}\text{C}) \times 0.06 (\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}) \times 6 \\ & 00 (\text{km}) \\ & = 108 \text{ ps}/\text{nm} \end{aligned}$$

図33において、温度変化に関しては、零分散波長の温度変化 (約0.03 nm/°C) により、波長分散特性 (a) は (c) へとシフトする。この場合、分散スロープは変化しない。

(5) 伝送路ファイバ及びDCFの分散スロープの波長依存性の影響

図39に示すように、ファイバ伝送路においても、主にDCFにおいて、設計原理上の問題から、分散スロープの波長依存性による分散のカーブを生じる (伝送路ファイバ側はほぼ直線的な分散特性を持っている)。そのため、伝送路+DCFにおいて、分散スロープの波長依存性による残留分散を生じる。長距離伝送においては、この残留分散が、40Gb/s信号の分散トレランスを超えるような大きい値になるため、全チャネル一括補償での分散補償を行うためには大きな問題となる。

【0025】既知の技術による対応策としては、(4) の経時的な波長分散変動に対応するために、可変分散補償器の適用が必要である。可変分散補償器の例として、図34のVIPAがある。可変分散補償器の配置方法に関しては、スロープ補償機能をも備えて全チャネル一括で補償する方法、可変または固定の分散スロープ補償器と組み合わせて全チャネル一括で補償する方法、各チャネル毎に配置する方法が考えられる (特願平2000-238349号参照)。

\* の波長分散係数及び分散スロープ係数の製造バラツキ  
伝送路ファイバ及び分散補償ファイバ (DCF) の波長分散係数 (単位長さ当たりの波長分散量。単位はps/nm/km) 及び分散スロープ係数 (単位長さ当たりの波長分散スロープ。単位はps/nm<sup>2</sup>/km) が、製造精度の限界のため、比較的大きなばらつきを持つ。そのため、図33に示すように、同じ長さの伝送路ファイバ及びDCFであっても、波長分散量 (単位はps/nm、(a)→(c)、-(a)→(b)') 及び分散スロープ量 (単位はps/nm<sup>2</sup>、((a)→(d))、-(a)→(d)') はばらつくことになる。

(4) ファイバ零分散波長の温度変化

伝送路ファイバの零分散波長が温度により経時的に変化するために、システム運用開始時だけでなく、システム運用中も波長分散量を厳密に測定しながら、中継区間毎の分散補償量の適切設定が必要とされる。

【0024】例えば、600kmの伝送路において100°Cの温度変化が生じる場合、波長分散変化量は40Gb/s NRZ信号の波長分散トレランスとほぼ同等の約108ps/nmとなる。

【0026】本発明の課題は、できるだけ低コストで、残留分散をできるだけ小さくできる波長分散補償装置とその配置構成を提供することである。

【0027】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の波長分散補償装置は、波長多重伝送システムにおいて、波長多重光信号を複数の波長帯に分離する帯域分割手段と、分離された波長多重光信号に対して残留分散の補償を行う固定分散補償手段とを備えることを特徴とする。

【0028】本発明の第2の波長分散補償装置は、波長多重伝送システムにおいて、波長多重光信号を複数の波長帯に分離する帯域分割手段と、分離された波長多重光信号に対して一括して分散補償を行う可変分散補償手段とを備えることを特徴とする。

【0029】本発明の第3の波長分散補償装置は、波長多重伝送システムにおいて、全て、または、一部の波長多重光信号に対して、一括して分散補償を行う可変分散補償手段と、該波長多重光信号を分割する光分波手段と、該分離された各チャネルの光信号に対して、残留分散の補償を行う固定分散補償手段とを備えることを特徴とする。

【0030】本発明の第4の波長分散補償装置は、波長多重伝送システムにおいて、波長多重光信号を複数の波長帯に分離する帯域分割手段と、分離された波長帯域

の各々に対して帯域間残留分散差を低減するための分散補償手段とを備えることを特徴とする。

【0031】本発明の第5の波長分散補償装置は、多中継光伝送システムにおいて、各インライン中継器に、該インライン中継器の前段のインライン中継区間の波長分散量を105%~120%だけ過補償する分散補償手段を備えることを特徴とする。

【0032】本発明によれば、効率的で効果的な波長分散装置とその方法を、低コストで提供することができる。

【0033】

【発明の実施の形態】伝送路+DCFの分散スロープの波長依存性による残留分散が無視できないほど大きい場合、本願発明の実施形態では、ある波長帯域毎に分割して分散補償する。

【0034】図1は、本発明の実施形態の原理を説明する図である。例えば、図1に示すような(a)伝送路及び(b)DCF1(全チャネル一括補償用)の残留分散特性の場合、波長多重信号を複数(図では4つ)の波長帯に分離し、各々の波長帯において、(c)固定分散補償器(DCF)または可変分散補償器(VDC:Variable Dispersion Compensator)を配置して分散補償量を微調整することで、全チャネルの残留分散を小さく抑えることができる(d)。同図では、各波長帯の中心波長に対して、100%の分散補償を行うように波長帯内の全チャネルに一定量の波長分散を与えている。固定の分散補償器を用いて微調整する場合には、予め伝送路の分散特性を測定しておき(あるいはファイバ固有の特性として分散ずれの量を把握しておき)、固定の分散補償量を決める必要があるが、その後温度変動で経時的に伝送路分散が変動した場合には、全チャネルの波長分散量が同じ方向に変動するため、併用している可変分散補償器を可変することで補償状態を保つことができる。

【0035】以下の構成例のいずれにおいても伝送する波長多重信号の波長間隔が100GHz(約0.8nm)の場合の例を示す。また、受信端局内での分散補償器構成例のみ示すが、インライン中継器内あるいは送信端局内に配置する場合も同様の構成が可能である。

【0036】図2は、本発明の実施形態を実現する第1の構成例である。本構成例においては、DCF1+100GHz間隔用可変分散補償器で全チャネル一括を行った後、インタリバーで波長間隔を200GHz(約1.6nm)間隔に分離し、その後帯域分割フィルタでn個の波長帯に分割し、各波長帯で固定分散補償器で微調整を行う。

【0037】まず、ファイバ伝送路10を伝搬してきた波長多重光信号は、受信機である図2の光ブリアンプ11において増幅されると共に、DCF1によって分散スロープの補償がされる。その後、100GHz間隔の光信号を可変分散補償器12に入力し、全波長について一

括して分散補償を行う。次に、インタリバー13によって、100GHz間隔の光信号を偶数チャネルと奇数チャネルに分割して、200GHz間隔の光信号に変換し、それぞれの光信号を帯域分割フィルタ14-1、14-2に入力し、n個の帯域に分ける。そして、一次分散微調整用DCF15によって、それぞれの帯域の残留分散を補償した後、光分波器(光DEMUX)16によって各チャネル毎の光信号に分波し、各光受信機#1~#40で受信する。

【0038】ここで、光受信機の数40となっているが、これは、同図において、波長多重数が40であると仮定しているからであり、波長多重数はこの値に限定されるものではない。むしろ、波長多重数に従った数の光受信機が設けられるべきである。以下の構成例の説明においても同様である。

【0039】ここで、帯域分割フィルタ14-1に入力される光信号は、奇数チャネルのものであり、帯域分割フィルタ14-2に入力される光信号は、偶数チャネルのものである。帯域分割フィルタは、既に商用化されており、例えば、JDS Uniphase社、Optlink社、Dicon社、Avanex社、HD fiber systems社、Chorum社などから発売されている。

【0040】図3は、本発明の実施形態の第2の構成例である。図2に対し、200GHz間隔に波長間隔を分離した後200GHz間隔用可変分散補償器を配置する構成となっている。

【0041】ファイバ伝送路10を伝搬してきた光信号は、光ブリアンプ11において増幅されると共に、DCF1によって、分散スロープ補償され、インタリバー13に入力される。インタリバー13は、100GHz間隔の波長多重光信号を200GHz間隔の光信号に間引き、奇数チャネルを200GHz間隔用可変分散補償器12-1へ、偶数チャネルを200GHz間隔用可変分散補償器12-2に送信する。可変分散補償器12-1、12-2では、それぞれ入力された光信号の波長分散補償処理を行い、それぞれ帯域分割フィルタ14-1、14-2に入力する。帯域分割フィルタ14-1、14-2は、間引かれた光信号をn個の帯域に分割し、その後、それぞれの帯域について、DCF15によって、一次分散の微調整が行われる。微調整が行われた各帯域の光信号は、光DEMUX16によって各チャネルの光信号に分波され、光受信機#1~#40によって受信される。

【0042】図4は、本発明の実施形態の第3の構成例を示す図である。本構成例では、図3に対し、インタリバーを2段用いて波長間隔を400GHz(約3.2nm)に分離し、その後、帯域分割フィルタでn個の波長帯に分割し、各波長帯で固定分散補償器で微調整を行う構成。帯域分割フィルタは特性上、分離波長位置で不透過波長帯(どちらの出力にも出力されない波長範囲)持



っているが、インタリバーで信号光波長の波長間隔を拡大することで、帯域分割フィルタに対する要求が緩和される（不透過波長帯が大きくても伝送不可となるチャネル数が無くなる、または少なくなる）。インタリバーを更に多段化して波長間隔を更に広げる構成も可能である。

【0043】ファイバ伝送路10を伝搬してきた光信号は、光プリアンプ11によって増幅され、DCF1によってスロープ補償され、インタリバー13によって偶数チャネルと奇数チャネルに分割される。これにより、それぞれの光信号の波長間隔は100GHzから200GHzになる。そして、200GHz間隔の光信号の波長分散を可変分散補償器12-1、12-2によって補償する。更に、その後、インタリバー20-1、20-2によって、200GHz間隔の光信号が400GHz間隔の光信号に間引かれ、それぞれについて、帯域分割フィルタ14-1~14-4に入力される。帯域分割フィルタ14-1~14-4においては、それぞれ入力された光信号の帯域をn個に分割する。そして、DCF15によってそれぞれの帯域の一次分散の補償の微調整が行われ、光DEMUX16に入力される。光DEMUX16によって各チャネルに分割された光信号は、各光受信機#1~#40で受信される。このように、帯域分割する前に、光信号の波長間隔を広くしておくことは、帯域分割する際に、帯域の境界に光信号が来る可能性を小さくし、したがって、帯域分割によって消されてしまう光信号をなくす意味で効果がある。

【0044】図5は、本発明の実施形態の第4の構成例を示す図である。本構成例では、図4に対し、帯域分割フィルタの後で、同じ波長帯の信号をインタリバーで合波した後、固定分散補償器で微調整を行う構成。微調整用の固定分散補償器の数を削減できる。

【0045】ファイバ伝送路10を伝搬してきた波長多重光信号は、光プリアンプ11において、増幅されると共に、DCF1によってスロープ補償が行われる。そして、インタリバー13によって、光信号の間引きが行われ、元の波長多重光信号のチャネル間隔（100GHz）の倍のチャネル間隔（200GHz）を有する光信号として、それぞれ可変分散補償器12-1、12-2に入力される。可変分散補償器12-1、12-2において、分散補償された後、インタリバー20-1、20-2によって、光信号は、更に間引かれ、それぞれ、元の波長多重光信号の波長間隔（100GHz）の4倍のチャネル間隔（400GHz）の信号となって、帯域分割フィルタ14-1~14-4に入力される。

【0046】帯域分割フィルタ14-1~14-4においては、それぞれの入力光信号をn個の帯域に分割する。そして、インタリバー21a-1~21b-n及び22-1~22-nによって、段階的に同じ波長帯域の光信号が合波され、DCF15によって、帯域毎に一次

分散補償の微調整が行われる。そして、微調整が行われた後、光信号は、光DEMUX16に入力され、各チャネルに分波された後、光受信機#1~#40において受信される。

【0047】図6は、本発明の実施形態の第5の構成例を示す図である。本構成例では、DCF1で全チャネル一括補償を行った後、帯域分割フィルタでn個の波長帯に分割し、各波長帯で固定分散補償器で微調整を行い、更に帯域合波フィルタで合波した後、可変分散補償器を配置する。

【0048】ファイバ伝送路10を伝搬してきた光信号は、光プリアンプ11によって増幅されると共に、DCF1によってスロープ補償される。その後、インタリバー13によって、波長多重光信号が間引かれ、それぞれ200GHz間隔の光信号として帯域分割フィルタ14a-1、14a-2に入力される。帯域分割フィルタ14a-1、14a-2は、それぞれの光信号をn個の帯域に分割し、それぞれの帯域用のDCF15に光信号を入力し、一次分散補償の微調整を行う。そして、微調整後の光信号を帯域合波フィルタ14b-1、14b-2に入力し、各帯域を合波して、可変分散補償器12-1、12-2に入力する。可変分散補償器12-1、12-2では、波長分散の補償を行い、光DEMUX16において、各チャネルに分割し、光受信機#1~#40において光信号が受信される。

【0049】図7は、本発明の実施形態の第6の構成例を示す図である。図6に対し、インタリバーを2段用いて波長間隔を400GHz（約3.2nm）に分離し、その後帯域フィルタでn個の波長帯に分割し、各波長帯で固定分散補償器で微調整を行い、更に帯域号はフィルタで合波した後、可変分散補償器を配置する構成。可変分散補償器の数が増えるが、帯域分割フィルタの不透過波長帯に関する要求が緩和される。

【0050】ファイバ伝送路10を伝搬してきた光信号は、光プリアンプ11において増幅されると共に、DCF1においてスロープ補償される。その後、インタリバー13によって、光信号が間引かれ、200GHz間隔の奇数チャネルと偶数チャネルに分割される。さらに、このようにして分割された奇数チャネルと偶数チャネルがそれぞれインタリバー20-1、20-2によって、それぞれの中における偶数チャネルと奇数チャネルに分割され、帯域分割フィルタ14a-1から14a-4に入力される。

【0051】各帯域分割フィルタ14a-1~14a-4では、各光信号をn個の帯域に分割し、それぞれの帯域の光信号を一次分散補償微調用DCF15に入力し、分散補償の微調整を行う。そして、微調整された光信号は、帯域合波フィルタ14b-1~14b-4によって合波され、可変分散補償器12-1~12-4によって光信号の分散補償が行われる。可変分散補償器12-1

～12-4の出力は、光DEMUX16によって各チャネル毎に分波され、光受信機#1～#40によって受信される。

【0052】図8は、本発明の別の実施形態に従った波長分散補償方法を説明する図である。図1と同様の

(a)伝送路及び(b)DCF1(全チャネル一括補償)の残留分散特性の場合の別の分散補償方法を示す。分散補償ファイバ(固定分散補償器)を複数(図では4つ)配置して、その長さを微調整することで、波長帯内で伝送路+DCF1+DCF2(a、b、...)の分散スロープがキャンセルされるようにする。更に各波長帯に可変分散補償器を配置して、波長分散の残留分を一括補償することで、全チャネルの残留分散を図1の場合に比べて小さく抑えることができる(d)。図1と同様、固定の分散補償器を用いて分散スロープを微調整するため、予め伝送路の分散及び分散スロープ特性を測定しておく必要があるが、その後に温度変動で経時的に伝送路分散が変動した場合には、全チャネルの波長分散量が同じ方向に変動するため、併用している可変分散補償器を可変とすることで補償状態を保つことができる。

【0053】本発明の実施形態により、波長多重伝送システムにおいて、伝送路+DCFの分散スロープの波長特性による残留分散が生じる場合、あるいは波長分散・分散スロープのバラツキが大きい場合にも、低コスト・省サイズで全チャネルの分散補償を効果的に行うことができ、長距離伝送を可能にする。

【0054】以下の構成例は、図8の原理のみならず図1の原理も実現することができる構成の例である。図9は、本発明の別の実施形態に従った第7の構成例を示す図である。

【0055】DCF1で全チャネル一括補償を行った後、インタリバーで波長間隔を200GHz(約1.6nm)間隔に分離し、その後帯域分割フィルタでn個の波長帯に分割し、各波長帯で可変分散補償器で微調整を行う構成。波長帯数の2倍の数の可変分散補償器が必要である。図8で説明した高精度な波長分散および分散スロープの補償を行うために、分散スロープ補償微調整用の固定分散補償器を配置することも可能である。

【0056】ファイバ伝送路10を伝搬してきた波長多重光信号は、光プリアンプ11によって増幅されると共に、DCF1によってスロープ補償される。その後、インタリバー13によって奇数チャネルと偶数チャネルに分離され、それぞれ帯域分割フィルタ14-1、14-2に入力される。帯域分割フィルタ14-1、14-2では、帯域をn個に分割し、光信号を出力する。各帯域の光信号は、DCF30は、分散スロープの補償の微調整に使われるが、受信側でそれほど精度の良い分散補償が要求されない場合には設けなくても良い。DCF30が括弧の中に入っているのは、設けるのが好ましいが、無くてもかまわないという意味である。

【0057】DCF30を通過後、光信号は、可変分散補償器12a-1～12a-n、12b-1～12b-nによって各帯域内での分散補償が行われ、光DEMUX16に送られる。光DEMUX16では、光信号は各チャネルに分割され、光受信機#1～#40によって受信される。

【0058】図10は、本発明の実施形態の第8の構成例を示す図である。本構成例では、図9に対し、インタリバーを2段用いて波長間隔を400GHz(約3.2nm)に分離し、その後帯域分割フィルタでn個の波長帯に分割し、各波長帯で可変分散補償器で微調整を行う。波長帯数の4倍の数の可変分散補償器が必要。図8で説明した高精度な波長分散及び分散スロープの補償を行うために、分散スロープ補償微調整用の固定分散補償器を配置することも可能である。

【0059】ファイバ伝送路10を伝搬してきた光信号は、光プリアンプ11において増幅されると共に、DCF1によってスロープ補償される。そして、インタリバー13によって奇数チャネルと偶数チャネルに分けられ、更に、後段のインタリバー20-1、20-2によって、それぞれが更に間引き分割され、帯域分割フィルタ14-1～14-4に入力される。帯域分割フィルタ14-1～14-4は、各入力光信号をn個の帯域に分割し、それぞれが任意に設けられるDCF30によって分散スロープの微調整補償を受け、可変分散補償器12a-1～12d-nによって分散補償される。そして、光DEMUX16に入力され、各チャネル毎に分波された後に、光受信機#1～#40によって受信される。

【0060】図11は、本発明の実施形態の第9の構成例を示す図である。図10に対し、帯域分割フィルタの後で、同じ波長帯の信号をインタリバーで合波した後、可変分散補償器で微調整を行う構成である。可変分散補償器の数を削減でき、この例では波長帯数の同数になる。

【0061】ファイバ伝送路10を伝搬してきた光信号は、光プリアンプ11において増幅され、DCF1によってスロープ補償される。そして、インタリバー13において、奇数チャネルと偶数チャネルに分波され、それぞれ、帯域分割フィルタ14-1、14-2に入力される。帯域分割フィルタ14-1、14-2においては、光信号の帯域をn個に分割し、帯域分割フィルタ14-1と14-2が分割した帯域の内、等しい帯域の光信号をインタリバー21-1～21-nで合波し、それぞれの帯域について、任意に設けられるDCF30で分散スロープ微調整補償する。そして、可変分散補償器12-1～12-nにおいて分散補償され、光DEMUX16において、光信号が各チャネルに分岐されて光受信機#1～#40で受信される。

【0062】図12は、本発明の実施形態の第10の構成例を示す図である。本構成例では、図11に対し、帯



域分割フィルタの後で、同じ波長帯の信号をインタリ  
バで合波した後、可変分散補償器で微調整を行う構成。  
可変分散補償器の数を削減でき、この例では波長帯数の  
2 倍の数の 200 GHz 可変分散補償器が必要になる。  
または、更にインタリバで 100 GHz に合波した  
後、波長帯数の 100 GHz 可変分散補償器を配置する  
ことも可能である。

【0063】ファイバ伝送路 10 を伝搬してきた光信号  
は、光ブリアンブ 11 によって増幅されると共に、DC  
F 1 によってスローブ補償される。そして、インタリ  
バ 13 において、奇数チャンネルと偶数チャンネルに分割さ  
れ、更に、インタリバ 20-1、20-2 において、  
間引き分割されて、帯域分割フィルタ 14-1~14-  
4 に入力される。帯域分割フィルタ 14-1~14-4  
では、入力された光信号を  $n$  個の帯域に分割し、次に、  
それぞれ同じ帯域の光信号をインタリバ 21a-1~  
21b- $n$  によって合波し、各帯域毎に DCF 30 によ  
って分散スローブの微調整補償が行われる。そして、可変  
分散補償器 12a-1~12b- $n$  で分散補償され、光  
DEMUX 16 において各チャンネルに分離され、光受信  
機 #1~#40 で受信される。

【0064】図 13 は、本発明の実施形態の第 11 の構  
成例を示した図である。DCF 1 + 100 GHz 間隔用  
可変分散補償器で全チャンネル一括補償を行った後、光 D  
EMUX で全チャンネルを分離した後、各チャンネル毎固定  
分散補償器で微調整を行う構成である。

【0065】ファイバ伝送路 10 を伝搬してきた光信号  
は、光ブリアンブ 11 によって増幅されると共に、DC  
F 1 によってスローブ補償される。次に、可変分散補償  
器 12 によって波長分散補償され、波長分散補償された  
光信号は、光 DEMUX 16 によって各チャンネル毎に分  
離され、DCF 15 によってチャンネル毎に一次分散の微  
調整が行われ、光受信機 #1~#40 によって受信され  
る。

【0066】図 14 は、本発明の実施形態の第 12 の構  
成例を示す図である。本構成例では、図 9 に対し、20  
0 GHz 間隔に波長間隔を分離した後に、200 GHz  
間隔用可変分散補償器を配置する構成である。

【0067】ファイバ伝送路 10 を伝搬してきた光信号  
は、光ブリアンブ 11 によって増幅されるとともに、D  
CF 1 によってスローブ補償される。その後、インタリ  
バ 13 によって、奇数チャンネルと偶数チャンネルに間引  
き分割され、それぞれが可変分散補償器 12-1、12  
-2 で分散補償され、光 DEMUX 16 で各チャンネルに  
分離される。各チャンネルの光信号は DCF 15 によ  
って一次分散の微調整を受け、光受信機 #1~#40 によ  
って受信される。

【0068】次に、インライン中継器における分散補償  
装置を説明する。前述の (2) の DCF のスローブ補償  
率の不完全性、(3) の伝送路・DCF のスローブ係数

の製造バラツキや、(5) の波長分散スローブの波長依  
存性の影響に関する解決方法として、やはり複数の波長  
帯域毎に分割して補償する方法を用いる。

【0069】図 15 は、インライン中継器に本発明の実  
施形態を適用した場合の原理構成を示す図である。図 1  
6 及び図 17 は、本発明の実施形態の分散補償方法の原  
理を説明する図である。

【0070】図 15 (a) に 4 分割の場合の帯域分割補  
償の基本構成 (固定分散補償器適用の場合) を示す。波  
長多重信号全チャンネル共通に分散補償器 DCF 1 (分散  
補償量  $d_1$ ) を配置した後、帯域分割フィルタ 20-1  
によって、4 つの波長帯域 (短波長側から  $\Lambda_1$ 、 $\Lambda_2$ 、 $\Lambda_3$ 、 $\Lambda_4$ ) に信号を分割する。その各帯域において、帯域  
間の残留分散差をおぎなうための DCF 2<sub>1</sub>、DCF  
2<sub>2</sub>、DCF 2<sub>3</sub>、DCF 2<sub>4</sub> を配置する。各スパンまた  
は複数スパンにおいて、図 16 に示すような (a) 伝送  
路及び (b) DCF 1 の残留分散特性の場合、各々の波  
長帯において、(c) 固定分散補償器 DCF 2<sub>1</sub>、DC  
F 2<sub>2</sub>、DCF 2<sub>3</sub>、DCF 2<sub>4</sub> によって、各波長帯の中  
心波長において 100% の分散補償を行うように調整を  
行う。その結果、全チャンネルの残留分散を小さく抑える  
ことができる (d)。分散補償器としては、分散補償フ  
ァイバのみならず、チャープドファイバグレーティング  
(CFBG: Chirped Fiber Bragg Grating) や、V I  
P A 分散補償器など、各種デバイスを適用できる。図 1  
5 (b) においては、全チャンネル一括補償分散補償器 D  
CF 1 を用いず、帯域間調整用分散補償器のみを適用す  
る場合の構成を示す。効果としては、図 15 (a) の場  
合同様であるが、図 17 に示すように、固定分散補償  
器 DCF 2<sub>1</sub>、DCF 2<sub>2</sub>、DCF 2<sub>3</sub>、DCF 2<sub>4</sub> とし  
て、分散補償量が大きなものを適用する必要がある。

【0071】そして、分散補償された光信号は、帯域分  
割フィルタ 20-2 (名前は帯域分割であるが、光素子  
の特性である光の伝搬の可逆性から、帯域分割フィルタ  
20-2 は、帯域を合成する素子としても機能する) に  
おいて、各帯域が合成されてから出力される。

【0072】図 18 は、図 15 に対応して、各波長帯域  
における固定分散補償器を可変分散補償器に置き換えた  
場合の構成を示す図である。分散補償量の設定の仕方  
は、図 16 (図 18 (a) の構成の場合)、図 17 (図  
18 (b) の構成の場合) と同じであるが、分散補償量  
が可変であるため、より高精度の分散補償が可能である  
こと、更に、伝送路温度変動などによる分散量の経時変  
化に対しても対応可能である。

【0073】すなわち、図 18 (a) においては、入射  
した光信号は、波長分散補償ファイバ DCF 1 によって  
分散補償された後、帯域分割フィルタ 20-1 によって  
各帯域  $\Lambda_1 \sim \Lambda_4$  に分割された後、可変分散補償器 1~4  
によって波長分散補償され、帯域分割フィルタ 20-2  
に入力される。帯域分割フィルタ 20-2 では、各帯域

に分割されて入力された光信号を合成して、1つの帯域の光信号として出力する。図18(b)においては、図18(a)の構成において、一括分散補償する波長分散補償ファイバDCF1が省略された構成となっている。

【0074】本発明の実施形態により、超高速の波長多重伝送システムにおいて、伝送路+DCFの波長分散・分散スロープの製造バラツキが大きい場合、DCFのスロープ補償率が低い場合、及び四次分散による残留分散が生じる場合にも、低コスト・省サイズで全チャネルの分散補償を効果的に行うことができ、長距離伝送を可能にする。

【0075】図19～図23は、波長帯域分割補償を行った場合の具体的なインライン中継器の構成例を示す図である。図19(a)においては、分布ラマン増幅のための励起光源25が設けられ、次段にEDFA26が設けられ、光信号が増幅される。そして、波長分散補償ファイバDCF1によって一括した分散補償がされた後、帯域分割フィルタ20-1によって2つの帯域 $\Lambda_1$ 、 $\Lambda_2$ に分割され、一方は、波長分散補償ファイバDCF2によって更に分散補償される。帯域 $\Lambda_1$ の方は、波長分散補償ファイバDCF2による光損失と同程度の損失を光信号に与える光アッテネータ(可変あるいは固定)27が必要に応じて設けられる。各帯域の光信号は、帯域分割フィルタ20-2によって帯域が合成された後、出力され、EDFA28によって増幅された後、伝送路に出力される。

【0076】図19(b)においては、帯域をn個に分割される構成であり、基本構成は、図19(a)と同じである。したがって、同じ構成要素には同じ参照符号を付して構成の説明は省略する。

【0077】図19においては、インライン中継器がエルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)2段から構成される場合の構成例を示す。必要に応じて、光信号対雑音比(OSNR)を改善するための分布ラマン増幅(DRA: Distributed Raman Amplification)を行う。(a)は帯域を2分割した場合の構成を示す。

(a)においては、帯域分割フィルタを用いて波長帯域を短波長側のブルーバンド( $\Lambda_1$ )及び長波長側のレッドバンド( $\Lambda_2$ )に分離する。帯域分割フィルタの前段に配置されている分散補償器(DCF1)は、ブルーバンド( $\Lambda_1$ )の中心チャネルにおいて波長分散が最適補償されるように設定されるので、ブルーバンド( $\Lambda_1$ )の光経路には分散補償器が設けられない。しかし、ブルーバンドの光経路に分散補償器DCF2と同等の光損失を与えるための可変または固定の光アッテネータを必要に応じて挿入する。伝送路ファイバの分散スロープを $S(p\text{ s/nm}^2/\text{km})$ 、DCFのスロープ補償率を $\beta(0\sim1)$ 、ブルーバンド( $\Lambda_1$ )とレッドバンド( $\Lambda_2$ )の中心チャネル間の波長差を $\Delta\lambda(\text{nm})$ 、1

スパン当たりのレッドバンド( $\Lambda_2$ )とブルーバンド( $\Lambda_1$ )の中心チャネル間の残留分散差は $S \cdot (1-\beta) \cdot \Delta\lambda \cdot L$ となる。よって、調整用DCFの分散補償量は、 $\Delta d = -S \cdot (1-\beta) \cdot \Delta\lambda \cdot L$ に設定すればよい。

【0078】図19(b)においては更に拡張してn分割した場合の構成を示す。波長帯域を短波長側から長波長側にn分割し、分割後の各信号帯域において分散補償量を最適化するための調整用の分散補償器DCF2<sub>1</sub>、DCF2<sub>2</sub>、・・・、DCF2<sub>n-1</sub>、DCF2<sub>n</sub>を配置する。各分散補償器の分散補償量は、0、 $\Delta d$ 、・・・、 $(n-2) \cdot \Delta d$ 、 $(n-1) \cdot \Delta d$ に設定する。 $\Delta d$ の値に関しては、図19(a)と同様に、 $\Delta d = -S \cdot (1-\beta) \cdot \Delta\lambda \cdot L$ ( $\Delta\lambda$ は隣接波長帯域の中心チャネル間の波長差)に設定すればよい。図19(a)、(b)のいずれにおいても、必要に応じて、各波長帯間の損失差を補償するための可変または固定の光アッテネータを必要に応じて配置する。

【0079】図20においては、図19の各波長帯域における固定分散補償器を可変分散補償器に置き換えた場合の構成を示す。分散補償量の設定の仕方は図19の構成と同じであるが、分散補償量が可変であるため、より高精度の分散補償が可能であること、更に、伝送路温度変動などによる分散量の経時変化に対しても対応可能であることが利点である。

【0080】図20(a)においては、分布ラマン増幅(励起光源25による増幅)、EDFA26による増幅の後、DCF1によって、ブルーバンド( $\Lambda_1$ )の分散補償を最適化する。そして、帯域分割フィルタ20-1によって帯域を分割し、レッドバンド( $\Lambda_2$ )の分散補償の最適化は可変分散補償器1によって行う。ブルーバンドの経路の光アッテネータは、可変分散補償器1の損失と同程度の損失をブルーバンドの光信号に与え、ブルーバンドの光信号とレッドバンドの光信号が帯域分割フィルタによって合波されたときに、ブルーバンドの光信号とレッドバンドの光信号の光強度に差ができないようにするものである。そして、帯域分割フィルタ20-2で帯域を合成して出力し、EDFA28で増幅して伝送路に出力する。

【0081】図20(b)においては、図19(b)のDCFを可変分散補償器に置き換えたものであるが、帯域 $\Lambda_1$ に設けられる可変分散補償器1が補償できる分散値が可変であることから、帯域分割フィルタの前段のDCF1は、必要に応じて設ければよいこととなる。

【0082】図20(b)の場合、図20(a)と同様の構成であり、分割する帯域数がn個になっているのみであるので、図20(a)と同様の構成要素には同様の参照符号を付して説明を省略する。

【0083】図21においては、前述の構成例と同様の構成要素に同じ参照符号を付して、説明を省略する。図

10

20

30

40

50

21においては、インライン中継器が、DCF集中ラマン増幅部30(DCFRA: Dispersion Compensating Fiber Raman Amplification、ラマン増幅をDCFを増幅媒体として行うものを以下、このように呼ぶ。これは、光増幅と分散補償を同時に行うものである。)と後段のEDFA28から構成される場合の構成例を示す。波長帯域信号の分割の仕方、調整用の分散補償ファイバの配置方法に関しては、図19と同じである。DCF集中ラマン増幅部30(DCFRA)は、帯域分割前に配置しており、全波長帯域( $\Lambda_1$ 、 $\Lambda_2$ 、 $\dots$ 、 $\Lambda_n$ )に利得を与えるよう、励起光パワーと励起波長を調整する。所要利得に応じて、DCF集中ラマン増幅部30(DCFRA)の段数は、同図のように1、2段、またはそれ以上にしてもよい。同図(a)、(b)の何れにおいても、必要に応じて、各波長帯間の損失差を補償するための可変または固定の光アッテネータを配置する。なお、前述したように、帯域 $\Lambda_1$ の分散補償は、帯域分割フィルタの前段において行われるので、この帯域のDCFは、特に設けなくても良く、設計上特に必要になった場合に設ければよい。

【0084】図22においては、図21と同じ構成要素には同じ参照符号を付して説明を省略する。図22においては、図21の各波長帯域における固定分散補償器を可変分散補償器に置き換えた場合の構成を示す。分散補償量の設定の仕方は図21の構成と同じであるが、分散補償量が可変であるため、より高精度の分散補償が可能であること、更に、伝送路温度変動などによる分散量の経時変化に対しても対応可能である。

【0085】図22(a)においては、帯域 $\Lambda_1$ の分散補償は、前段のDCF1によって、あるいは、必要に応じてDCF2と共に行われるので、可変あるいは固定の光アッテネータのみを設けている。

【0086】図22(b)においては、帯域 $\Lambda_1$ の経路に可変分散補償器1が設けられているので、光信号の増幅が十分で有れば、DCF1、2は省略することも可能である。

【0087】図23においては、図21と同じ構成要素には同じ参照符号を付して説明を省略する。図23においては、DCFRAを帯域分割補償部内に配置する場合、または帯域分割補償部前と帯域分割補償部内に分けて配置する場合の構成例を示す。図23(a)においては、帯域分割フィルタを用いて波長帯域を短波長側のブルーバンド( $\Lambda_1$ )及び長波長側のレッドバンド( $\Lambda_2$ )に分離する。帯域分割補償部内に配置されている分散補償器DCF2<sub>1</sub>、DCF2<sub>2</sub>は、それぞれ、その分散補償量の和 $d_1 + d_2$ 、 $d_1 + d_2 + \Delta d$ が各々ブルーバンド( $\Lambda_1$ )、レッドバンド( $\Lambda_2$ )の中心チャネルにおいて最適補償になるように調整され、DCF2<sub>1</sub>、DCF2<sub>2</sub>(およびDCFRAを行う場合にはDCF1においても)において、十分なラマン増幅利得が得られるように

長さを設定する。図17と同様に、 $\Delta d = -S \cdot (1 - \beta) \cdot \Delta \Lambda \cdot L$ に設定すればよい。また、波長帯域間の光レベルが等しくなるように、DCF2<sub>1</sub>、DCF2<sub>2</sub>におけるラマン増幅利得を調整することができる。すなわち、ラマン増幅の利得を調整することで、光アッテネータと同様の機能を達成することができる。

【0088】図23(b)においては、更に拡張して、帯域をn分割した場合の構成を示す。波長帯域を短波長側から長波長側にn分割し、分割後の各信号帯域において分散補償量を最適化するための調整用の分散補償器DCF2<sub>1</sub>、DCF2<sub>2</sub>、 $\dots$ 、DCF2<sub>n-1</sub>、DCF2<sub>n</sub>を配置する。各分散補償器の分散補償量は、 $d_1$ 、 $d_2 + \Delta d$ 、 $\dots$ 、 $d_2 + (n-2) \cdot \Delta d$ 、 $d_2 + (n-1) \cdot \Delta d$ に設定する。 $\Delta d$ の値に関しては、図23(a)と同様に、 $\Delta d = -S \cdot (1 - \beta) \cdot \Delta \lambda \cdot L$ ( $\Delta \lambda$ は隣接波長帯域の中心チャネル間の波長差)に設定すればよい。また、波長帯域間の光レベルが等しくなるように、DCF2<sub>1</sub>、DCF2<sub>2</sub>、 $\dots$ 、DCF2<sub>n</sub>におけるラマン増幅利得を調整する。

【0089】図24～図26は、図19～図25で示した帯域分割補償を行うインライン中継器を用いたシステム構成例を示す図である。これらの図には、6スパン伝送の場合の例を示しているが、他のスパン数の場合も同様の構成が可能である。また、帯域を2分割した場合の例を示しているが、更に多数に分割した場合も同様の構成が可能である。

【0090】図24では、前述の本発明の実施形態に従った各インライン中継器35において帯域分割補償を行っており、分割帯域間で $\Delta d$ の分散補償量の差を与えている。送信器Tx#1～#nから出力された各波長の光信号は、光合波器40によって合波され、伝送路に出力される。伝送路では光信号は、インライン中継器35によって中継され、光合波器41によって各波長に分波され、任意の設けられる可変分散補償器42を通して、受信機Rx#1～#nで受信される。

【0091】図25、図26では、図24と同じ構成要素には同じ参照符号を付して説明を省略する。図25では、2スパン毎に帯域分割補償を行っており、分割帯域間で $2\Delta d$ の分散補償量の差を与えている。図26では3スパン毎に帯域分割補償を行っており、分割帯域間で $3\Delta d$ の分散補償量の差を与えている。図26の3スパン毎の構成から1スパン毎の図24の構成に近づく程、インライン中継器における残留分散が小さく抑えられるので、波長分散とファイバ非線形効果による波形劣化は小さく抑えられるが、分割補償部の数量が多くなるため、コスト・サイズが大きくなり、光信号対雑音比(OSNR)確保の点からは不利になる。そのようなシステム全体でのトレードオフを考慮して、実際の帯域分割部の配置位置を決める必要がある。

【0092】以下に、インライン区間における分散補償

量をどのように設定するのが良いかについての実施形態を説明する。前述の(1)の伝送路長のバラツキや、(2)の波長分散係数の製造ばらつきに関しては、敷設ファイバ伝送路の波長分散量(全区間または各インライン区間毎)を実測し、それに合った波長分散量を持った分散補償ファイバを配置する必要がある。ただし、波長分散を1つのチャネル(例えば中心チャネル)で厳密に補償した場合でも、(2)の分散スロープの製造バラツキの問題があるために、他のチャネルは厳密な分散補償ができないことになる。そのためには、各インライン区間で分散トレランスをできるだけ大きく確保し、受信端で全チャネルに対して厳密な分散補償を行う方法が有効になる。

【0093】図27は、SMF600km伝送(100km×6スパン)において、インラインの分散補償量 $D_{oc1} = 100\%$ および114%の場合での、残留分散(伝送路+分散補償器の総分散量)に対するQペナルティ(波形特性を表すQ値の劣化量)を示す図である。

【0094】ここで、Qペナルティとは、Q値のバックツーバックの値とQ値の伝送路を介しての伝送後の値の差である。Q値は、光信号波形を電気信号に直し、アイパターンを得た場合、アイの中心で縦にアイの断面を取り、“1”側と“0”側のサンプルの分布の中心間の距離で“1”側のサンプル分布の標準偏差と“0”側のサンプル分布の標準偏差の和を割ったものである。

【0095】図27(a)は、Qペナルティを全残留分散値に対してプロットしたものである。図27(b)は、インライン分散補償量を、伝搬分散量を100%補償する場合であって、受信端で残留分散を0にした場合のアイパターンである。また、図27(c)は、図27(b)において、インライン分散補償量を、伝搬分散量を114%まで補償するものとした場合のアイパターンである。

【0096】図27(a)～(c)から明らかなように、100%分散補償の場合に比べ、114%の過補償にした場合の方が波形劣化が小さく、ペナルティが小さいことが分かる。(波形を完全に崩した方が有利)。ただし、受信端での分散補償量( $D_{ocr}$ )を調節して(短く設定して)、残留分散を厳密に零に合わせる必要がある。ただし、伝送条件(ファイバ種、伝送距離、ビットレートなど)の違いによって、 $D_{ocr}$ を他の値に最適化することも可能である。

【0097】図28は、SMF600km伝送(100km×6スパン)において、受信端分散補償量( $D_{ocr}$ )を各場合で調節して残留分散を零にした場合の、インライン分散補償残量(1スパンでの伝送路分散量+インラインDCFの分散残留分)に対するQペナルティの特性を示す図である。

【0098】インラインDCFにおいて過補償(インライン分散補償残量が負)にした方がペナルティが小さく

なることが確認でき、しかも40Gb/s信号の分散トレランス(約70ps/nm)に比べて、かなり大きいトレランス(1.5dBペナルティを許容した場合、約400ps/nm)を確保できることが分かる。

【0099】ここで、分散ずれ量 $\Delta D$ は、以下の式で与えられる。

$$\Delta D (\text{ps/nm}) = (1 \text{ スパン当たりの分散量 } (\text{ps/nm})) \times (1 - \text{分散補償率})$$

ここで、分散補償率 = (分散補償率の%表示) / 100 であり、図28の場合は、(1スパン当たりの分散量 (ps/nm)) = (17 (ps/nm/km)) × ((1スパン当たり) 100 (km)) = (1700 (ps/nm)) である。

【0100】特に、インライン分散補償量が約114%補償に対応する-200ps/nmの周辺では特にQペナルティが良くなっており、約105%補償から約120%補償の範囲で特によい特性が得られている。

【0101】従って、本発明の実施形態により、超高速の波長多重伝送システムにおいて、伝送路+DCFの波長分散・分散スロープの製造バラツキが大きい場合、DCFのスロープ補償率が低い場合、及び分散スロープの波長依存性による残留分散が生じる場合にも、低コスト・省サイズで全チャネルの分散補償を効果的に行うことができ、長距離伝送を可能にする。

【0102】図29は、インライン分散補償量の最適化に関する実施形態に対応する第1の構成例を示す図である。なお、同図においては、図24と同じ構成要素には同じ参照符号を付して説明を省略する。

【0103】各インライン中継区間の中心チャネルにおける分散量を実測して、それが $D_1, D_2, \dots, D_{n-1}, D_n$ であった場合、インライン中継器ILA1、ILA2、ILA(n-1)における分散補償量を $d_{oc11} = -(1+\gamma) \cdot D_1, d_{oc12} = -(1+\gamma) \cdot D_2, \dots, d_{oc1(n-1)} = -(1+\gamma) \cdot D_{n-1}$ に設定する。

$\gamma$ は、分散補償量の過補償比率で典型的には0.10～0.15(10%～15%)である。送信端には、伝送特性を向上させるための分散補償器(光ポストアンプにおける分散補償)DCT(分散補償量 $d_{ocr}$ )を配置することがありえる(典型値としては $d_{ocr} = 0$ (無配置))。分散インライン中継器での過補償分を補って、残留分散(伝送路+分散補償器の総分散量: Residual Dispersion)を $D_{ro}$ (典型値としては零)に設定するために、光プリアンプの受信分散補償器DCRの受信端分散補償量は $\gamma(D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1}) - d_{ocr} - D_n + D_{ro}$ に設定する。

【0104】もし、各スパンの分散量が等しい場合( $D_1 = D_2 = \dots = D_{n-1} = D_n = D$ )、 $((n-1)\gamma - 1)D - d_{ocr} + D_{ro}$ となる。更に、各種分散バラツキや経時変動を調整するための可変分散補償器を各チャネル毎または全チャネル共通に配置することもありえる。

【0105】図30は、図29の更に具体的な構成例の一つを示す図である。同図においては、図29と同じ構成要素には同じ参照符号を付して説明を省略する。

【0106】各インライン中継器50において、分布ラマン増幅(DRA: Distributed Raman Amplification)及びDCFを用いた集中ラマン増幅(DCFRA)を行っている。DCFRAに関しては、所要利得に応じて、1段構成または多段構成があり得る。いずれの場合も、各DCFの分散補償量の和が図29に示した分散補償量と等しくなると共に、各DCFにおけるラマン増幅利得が所要値以上確保できるように各DCFの長さを調節する。その際、受信端DCFにおけるラマン利得を所要量とする長さを確保するために、分散補償量の過補償比率 $\gamma$ が大きくなりすぎないように設定する必要がある。

【0107】受信側の中継器51は、インライン中継器50と基本的に同構成であるが、光増幅器が光ブリアンプとなっていて、受信端での信号検出のための増幅を行うようになっている。

【0108】図31は、帯域分割分散補償とインライン過補償の構成を合わせて実現する構成例を示す図である。同図においては、図30と同じ構成要素には同じ参照符号を付し、説明を省略する。

【0109】各光インラインアンプには、過補償を行う分散補償ファイバDCL1～DCL(n-1)が設けられ、それぞれ、 $d_{0CL1} \sim d_{0CL(n-1)}$ の過補償を行っている。更に、これら分散補償ファイバの後段には、前述したように帯域分割フィルタが設けられ、帯域毎に分散補償を行うように構成される。

【0110】受信端の光ブリアンプに設けられる分散補償器では、前段の分散補償ファイバDCRと後段の帯域分割分散補償器で、残留分散が0になるように分散補償を行う構成となっている。また、波長多重光信号が各波長の光信号に分波されたのちに、可変分散補償器を設けて、個別に分散補償の微調整を行うようにしても良い。

【0111】(付記1)波長多重光伝送システムにおいて、波長多重光信号を複数個の波長帯に分離する帯域分割手段と、分離された波長多重光信号に対して残量分散の補償を行う固定分散補償手段と、を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【0112】(付記2)波長多重光伝送システムにおいて、波長多重光信号を複数個の波長帯に分離する帯域分割手段と、分離された該波長多重光信号に対して一括して分散補償を行う可変分散補償手段と、を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【0113】(付記3)前記帯域分散手段の前段に、前記波長多重光信号を分岐し、チャンネル間隔を拡大した複数の光信号に変換するインタリバ手段を更に備えることを特徴とする付記1または2に記載の波長分散補償装置。

【0114】(付記4)波長多重光伝送システムにおいて、全て、または、一部の波長多重光信号に対して、一括して分散補償を行う可変分散補償手段と、該波長多重光信号を分割する光分波手段と、該分離された各チャンネルの光信号に対して、残留分散の補償を行う固定分散補償手段と、を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【0115】(付記5)前記光分波手段は、前記波長多重光信号を複数の波長帯域に分割することを特徴とする付記4に記載の波長分散補償装置。

(付記6)前記光分波手段は、前記波長多重光信号を各チャンネル毎の光信号に分波することを特徴とする付記4に記載の波長分散補償装置。

【0116】(付記7)前記波長分散補償装置は、受信端局内に設けられることを特徴とする付記1、2、または4に記載の波長分散補償装置。

(付記8)前記波長分散補償装置は、インライン中継器に設けられることを特徴とする付記1、2、または4に記載の波長分散補償装置。

【0117】(付記9)前記分散補償は、受信した波長多重光信号が受けている波長分散の105%～120%を補償することを特徴とする付記1、2、または4に記載の波長分散補償装置。

【0118】(付記10)波長多重光伝送システムにおいて、波長多重光信号を複数の波長帯に分離する帯域分割手段と、分離された波長帯域の各々に対して帯域間残留分散差を低減するための分散補償手段と、を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【0119】(付記11)前記分散補償手段は、固定分散補償器であることを特徴とする付記10に記載の波長分散補償装置。

(付記12)前記分散補償手段は、可変分散補償器であることを特徴とする付記10に記載の波長分散補償装置。

【0120】(付記13)前記波長分散補償装置は、インライン中継器に設けられることを特徴とする付記10に記載の波長分散補償装置。

(付記14)入力された波長多重光信号を一括して分散補償する一括分散補償手段を更に有し、該一括分散補償手段は、受信した波長多重光信号の受けている波長分散の105%～120%を補償することを特徴とする付記10に記載の波長分散補償装置。

【0121】(付記15)前記波長多重光システムに、前記波長分散補償装置を含むインライン中継器と該波長分散補償装置を含まないインライン中継器とを混在させることを特徴とする付記10に記載の波長分散補償装置を使った波長多重光伝送システム。

【0122】(付記16)前記インライン中継器の中の、前記波長分散装置の前段あるいは後段に、分散補償ファイバを増幅媒体として用いた光増幅器を設けること

を特徴とする付記 13 に記載の波長分散補償装置。

【0123】（付記 17）前記分割された波長帯域毎に分散補償ファイバを増幅媒体として用いた光増幅器を設けることを特徴とする付記 10 に記載の波長分散補償装置。

【0124】（付記 18）多中継光伝送システムにおいて、各インライン中継器に、該インライン中継器の前段のインライン中継区間の波長分散量を 105%～120%だけ過補償する分散補償手段を備えることを特徴とする波長分散補償装置。

【0125】（付記 19）前記多中継光伝送システムにおいては、受信端において、総分散量を零近傍になるように補償することを特徴とする付記 18 に記載の波長分散補償装置。

【0126】（付記 20）波長多重光信号の中心チャネルの各インライン中継区間の波長分散両情報に基づいて、各インライン中継器内及び、受信端における分散補償量を設定することを特徴とする付記 19 に記載の波長分散補償装置。

【0127】

【発明の効果】本発明によれば、低コストで効果的かつ精度良く、波長多重光通信における分散補償を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態の原理を説明する図である。

【図 2】本発明の実施形態を実現する第 1 の構成例である。

【図 3】本発明の実施形態の第 2 の構成例である。

【図 4】本発明の実施形態の第 3 の構成例を示す図である。

【図 5】本発明の実施形態の第 4 の構成例を示す図である。

【図 6】本発明の実施形態の第 5 の構成例を示す図である。

【図 7】本発明の実施形態の第 6 の構成例を示す図である。

【図 8】本発明の別の実施形態に従った波長分散補償方法を説明する図である。

【図 9】本発明の別の実施形態に従った第 7 の構成例を示す図である。

【図 10】本発明の実施形態の第 8 の構成例を示す図である。

【図 11】本発明の実施形態の第 9 の構成例を示す図である。

【図 12】本発明の実施形態の第 10 の構成例を示す図である。

【図 13】本発明の実施形態の第 11 の構成例を示した図である。

【図 14】本発明の実施形態の第 12 の構成例を示す図である。

【図 15】インライン中継器に本発明の実施形態を適用した場合の原理構成を示す図である。

【図 16】本発明の実施形態の分散補償方法の原理を説明する図（その 1）である。

【図 17】本発明の実施形態の分散補償方法の原理を説明する図（その 2）である。

【図 18】図 15 に対応して、各波長帯域における固定分散補償器を可変分散補償器に置き換えた場合の構成を示す図である。

10 【図 19】波長帯域分割補償を行った場合の具体的なインライン中継器の構成例を示す図（その 1）である。

【図 20】波長帯域分割補償を行った場合の具体的なインライン中継器の構成例を示す図（その 2）である。

【図 21】波長帯域分割補償を行った場合の具体的なインライン中継器の構成例を示す図（その 3）である。

【図 22】波長帯域分割補償を行った場合の具体的なインライン中継器の構成例を示す図（その 4）である。

【図 23】波長帯域分割補償を行った場合の具体的なインライン中継器の構成例を示す図（その 5）である。

20 【図 24】図 19～図 25 で示した帯域分割補償を行うインライン中継器を用いたシステム構成例を示す図（その 1）である。

【図 25】図 19～図 25 で示した帯域分割補償を行うインライン中継器を用いたシステム構成例を示す図（その 2）である。

【図 26】図 19～図 25 で示した帯域分割補償を行うインライン中継器を用いたシステム構成例を示す図（その 3）である。

30 【図 27】SMF 600 km 伝送において、インラインの分散補償量  $D_{acc} = 100\%$  および  $114\%$  の場合での、残留分散に対する Q ペナルティを示す図である。

【図 28】SMF 600 km 伝送において、受信端分散補償量を各場合で調節して残留分散を零にした場合の、インライン分散補償残量に対する Q ペナルティの特性を示す図である。

【図 29】インライン分散補償量の最適化に関する実施形態に対応する第 1 の構成例を示す図である。

【図 30】図 29 の更に具体的な構成例の一つを示す図である。

40 【図 31】帯域分割分散補償とインライン過補償の構成を合わせて実現する構成例を示す図である。

【図 32】波長多重伝送システムの構成例を示す図である。

【図 33】各種変動要因による伝送路波長分散量の変化を示す図である。

【図 34】可変分散補償器の例としての VIPA (Virtually Imaged Phased Array) を示す図である。

【図 35】VIP A 可変分散補償器の透過特性と群遅延特性を示す図である。

50 【図 36】VIP A 可変分散補償器群遅延特性を示す図



である。

【図37】従来技術の受信端局の構成例を示す図である。

【図38】インタリーバの動作を説明する図である。

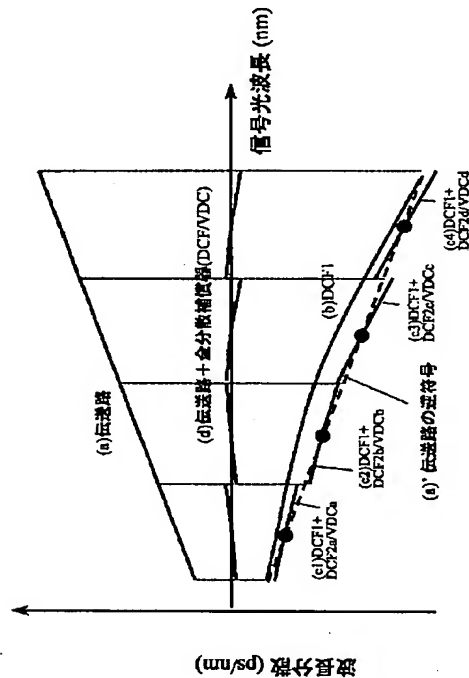
【図39】ファイバ伝送路における分散特性の典型例を示す図である。

【図40】40Gb/s NRZ信号における受信ベースバンド信号中の40GHz成分強度を検出した結果を示す図である。

【図41】分散スロープバラツキによる伝送路波長分散\*10

【図1】

本発明の実施形態の原理を説明する図



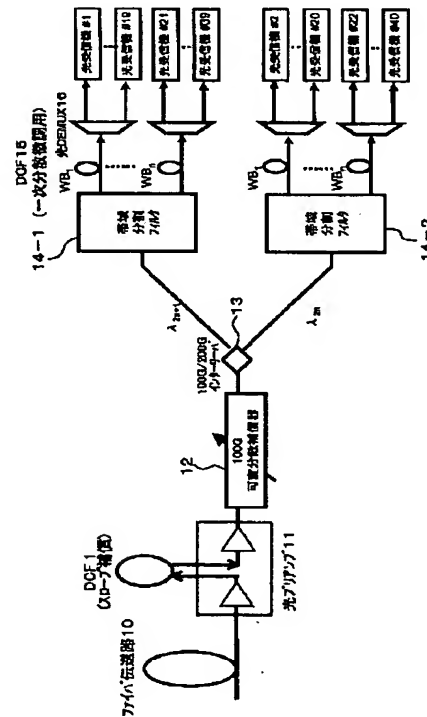
\*変動を示す図である。

【符号の説明】

- 10 ファイバ伝送路
- 11 光プリアンプ
- 12 可変分散補償器
- 13 インタリーバ
- 14-1、14-2 帯域分割フィルタ
- 15 DCF
- 16 光DEMUX

【図2】

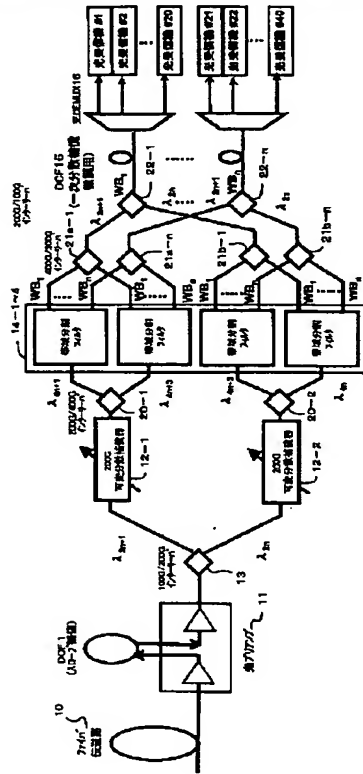
本発明の実施形態を実現する第1の構成例





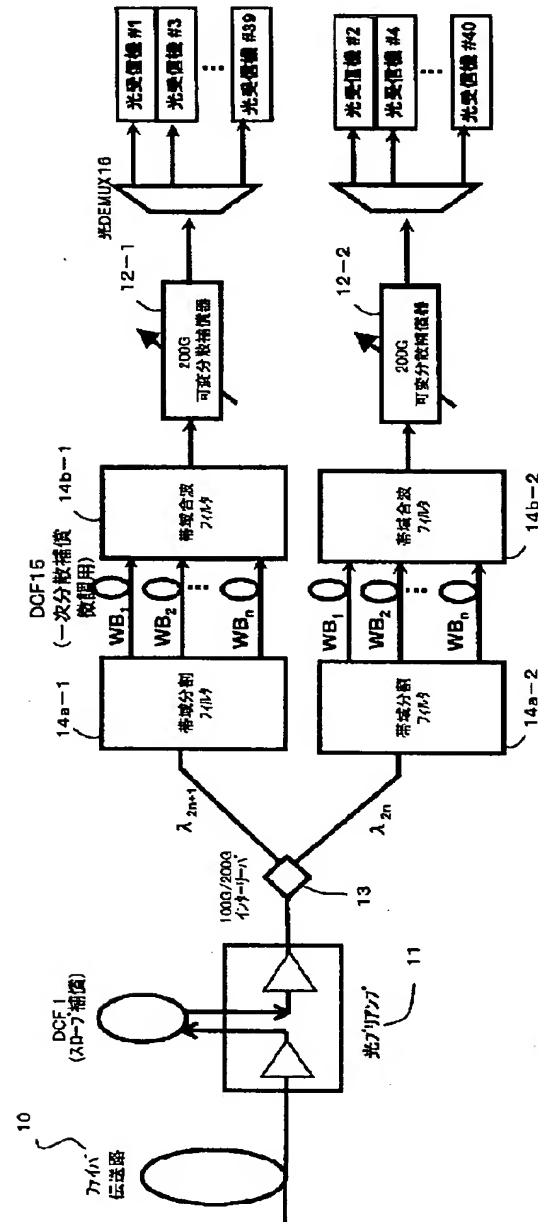
【図5】

本発明の実施形態の第4の構成例を示す図



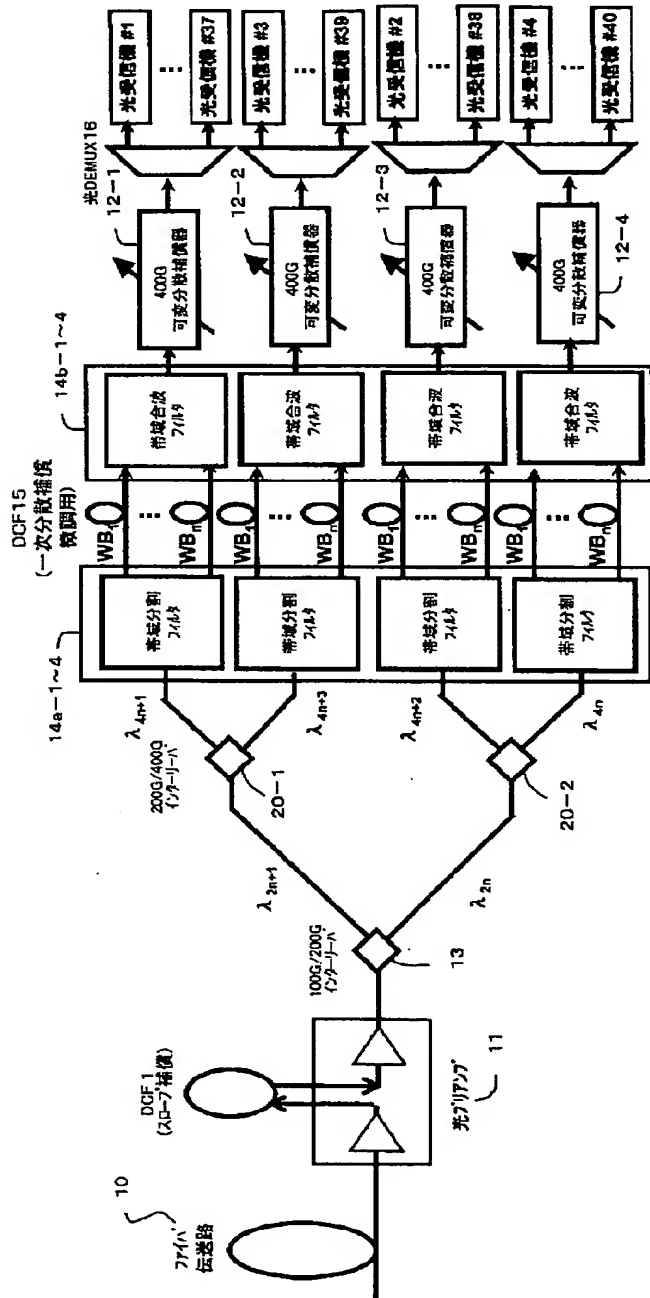
【図6】

本発明の実施形態の第5の構成例を示す図

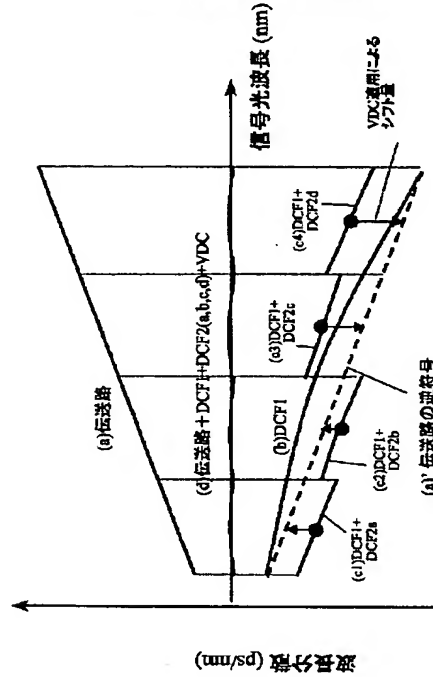


【図7】

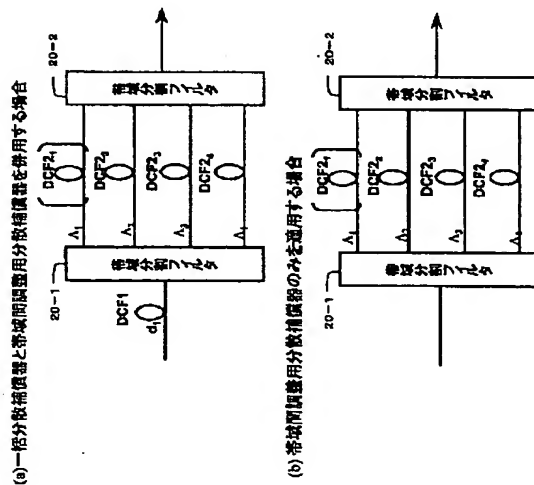
本発明の実施形態の第6の構成例を示す図



【図8】

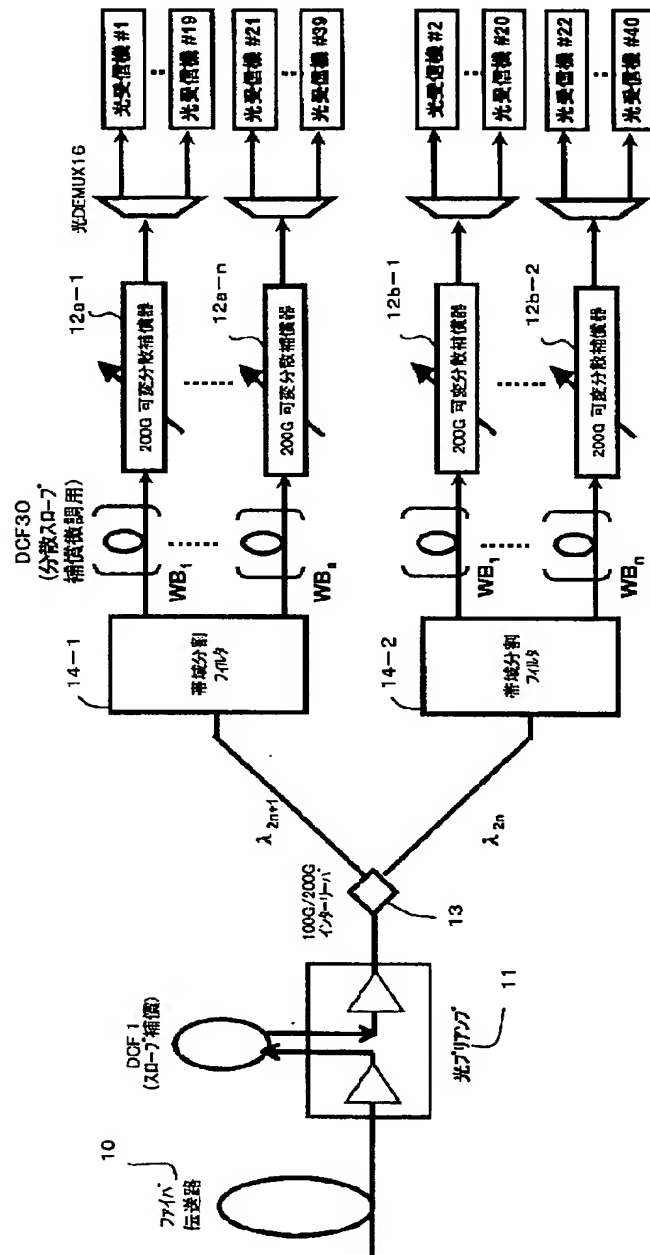
本発明の別の実施形態に従った  
波長分散補償方法を説明する図

【図15】

インライン中継器に本発明の実施形態を  
適用した場合の原理構成を示す図

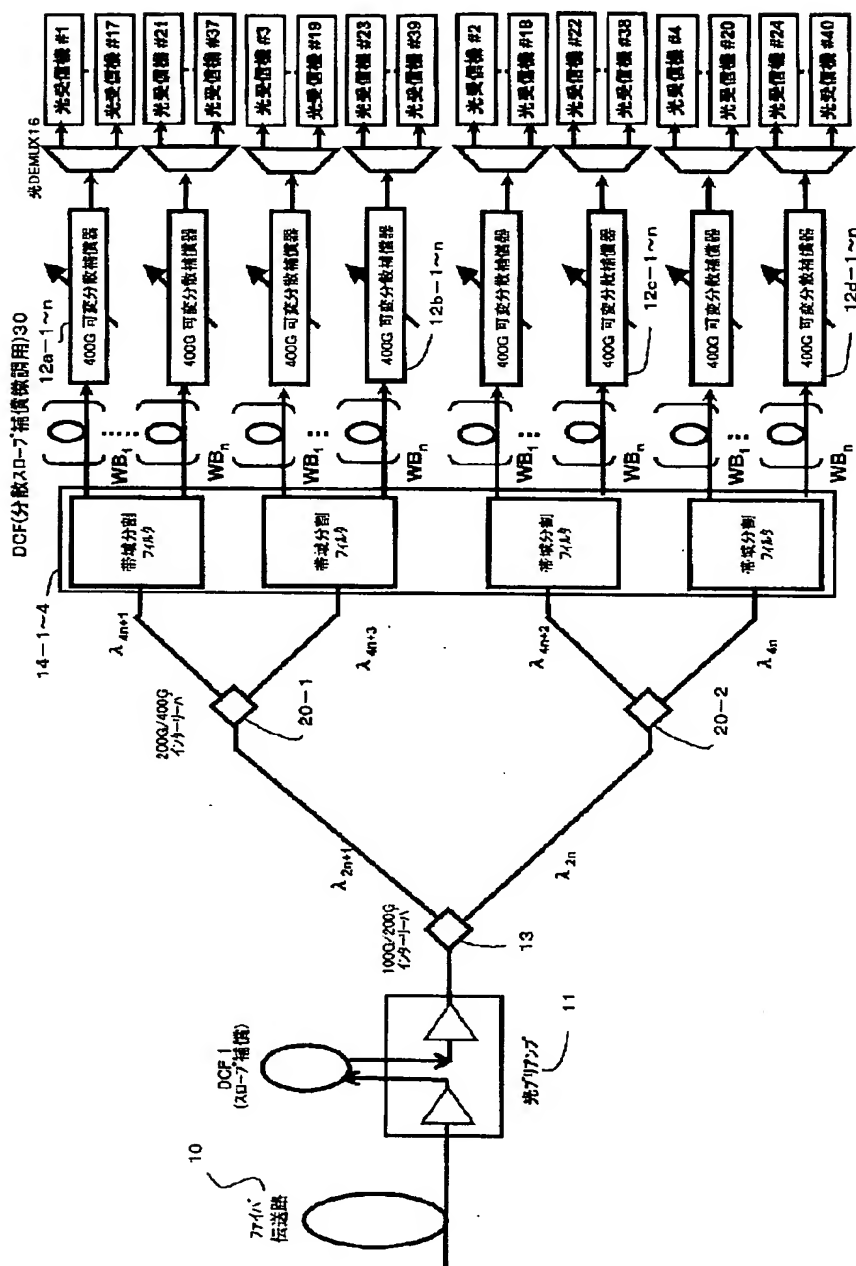
【図9】

本発明の別の実施形態に従った第7の構成例を示す図



【図10】

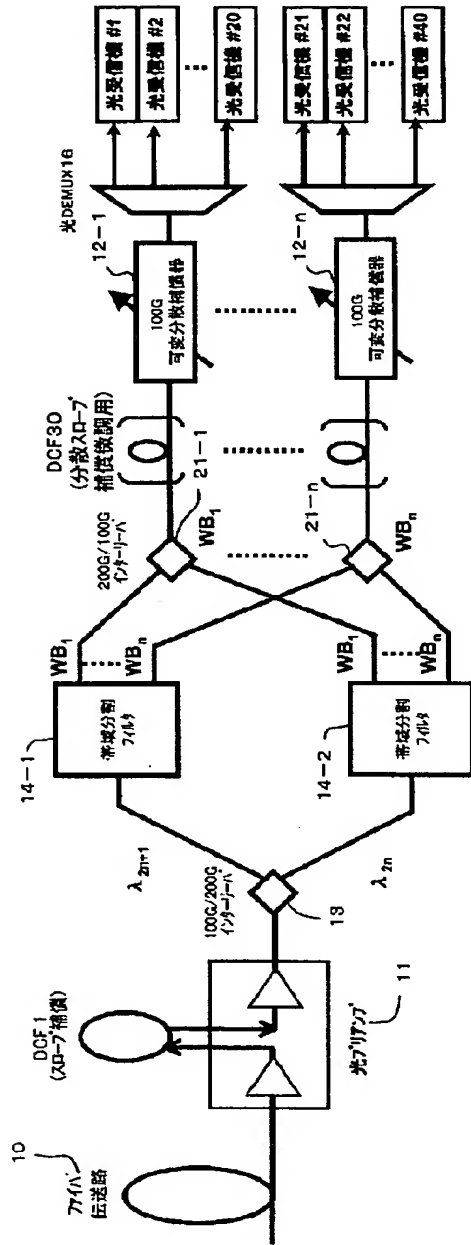
本発明の実施形態の第8の構成例を示す図





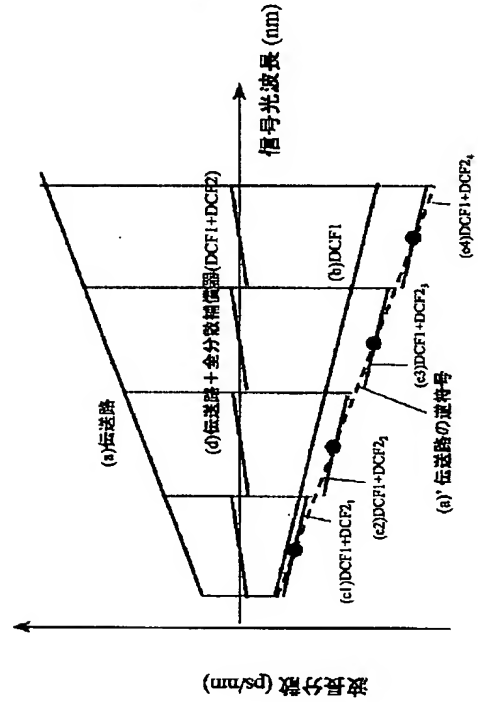
【図11】

本発明の実施形態の第9の構成例を示す図



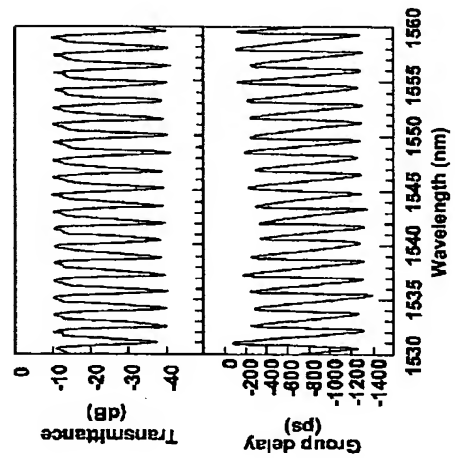
【図16】

本発明の実施形態の分散補償方法の  
原理を説明する図(その1)



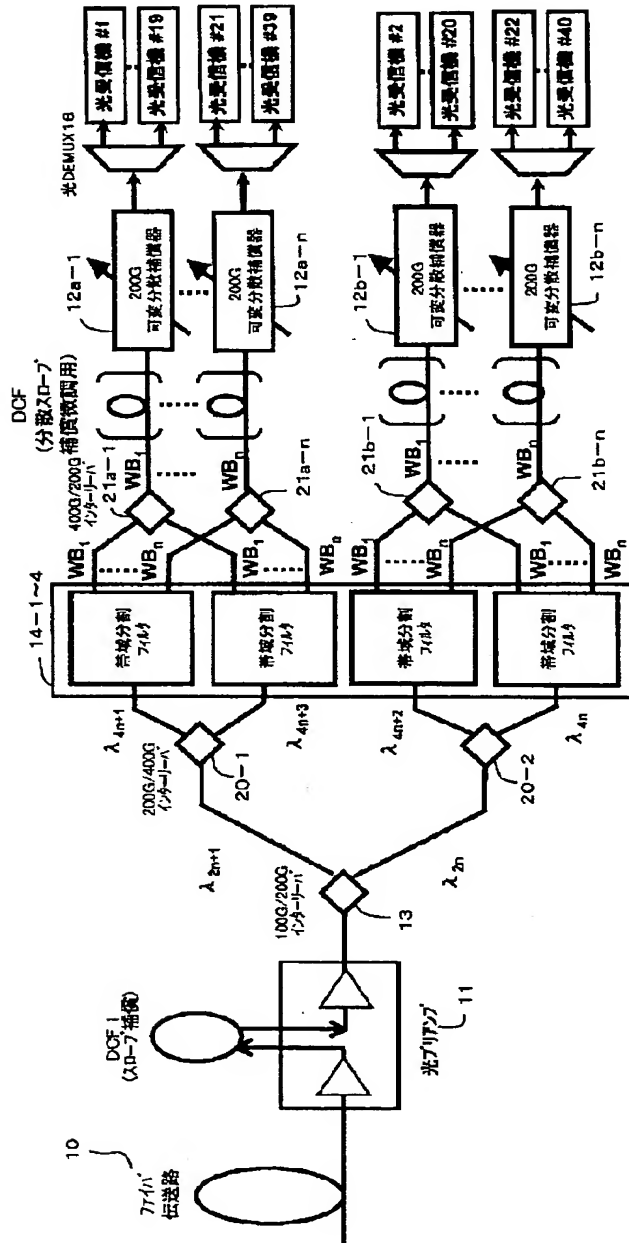
【図35】

VIPA可変分散補償器の透過特性と群遅延特性を示す図

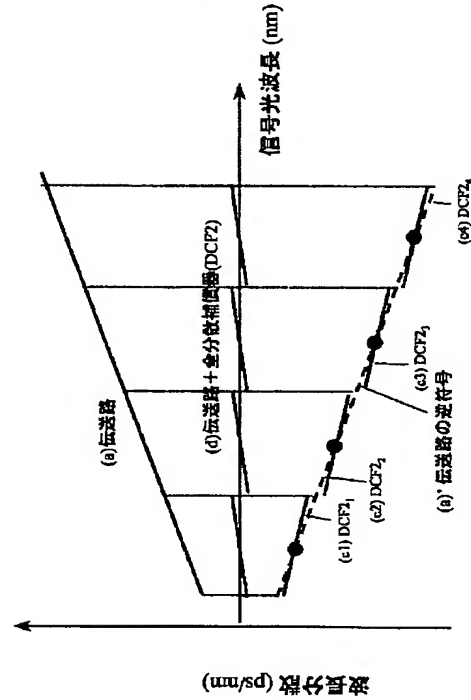


【図12】

本発明の実施形態の第10の構成例を示す図

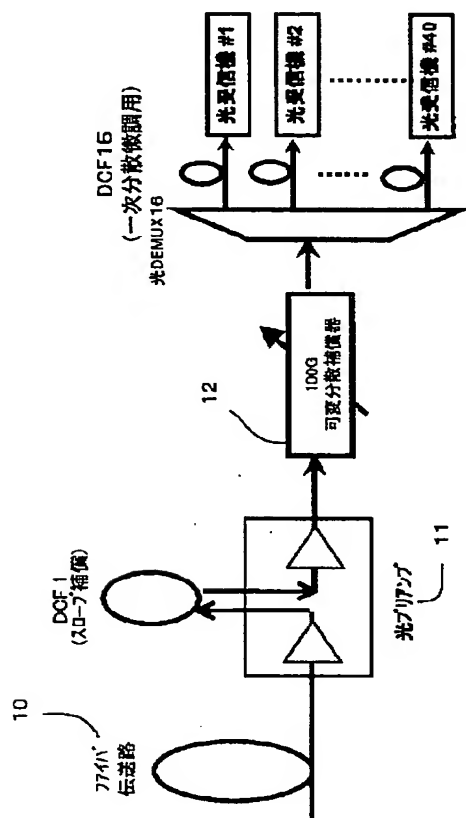


【図17】

本発明の実施形態の分散補償方法の  
原理を説明する図(その2)

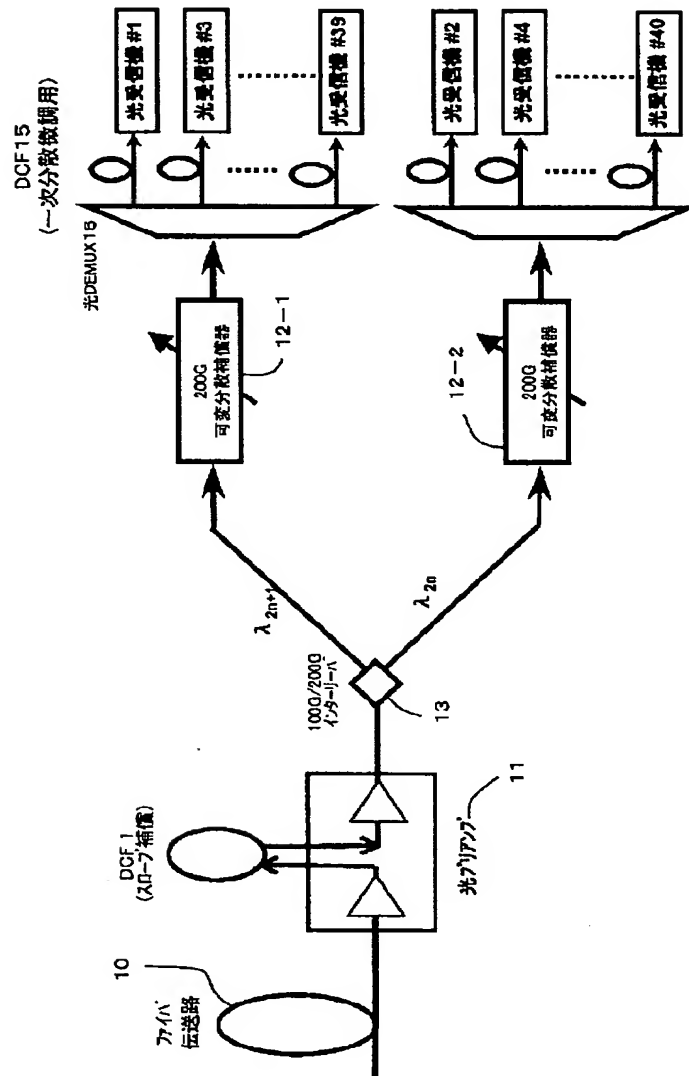
【図13】

本発明の実施形態の第11の構成例を示した図



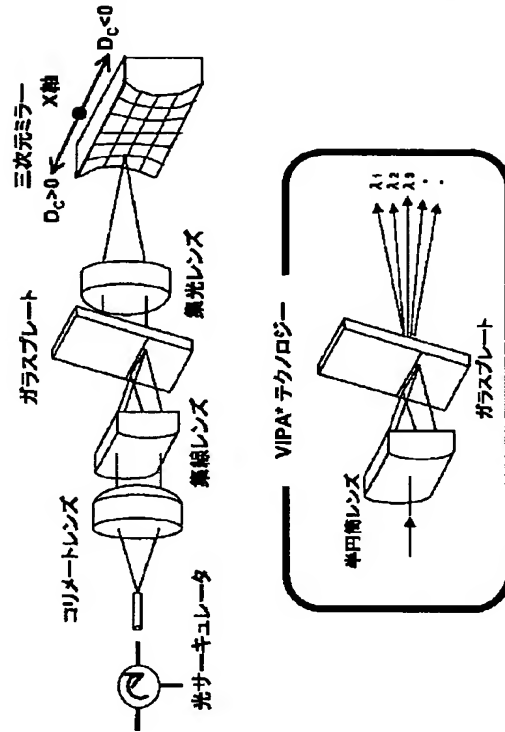
【図14】

本発明の実施形態の第12の構成例を示す図



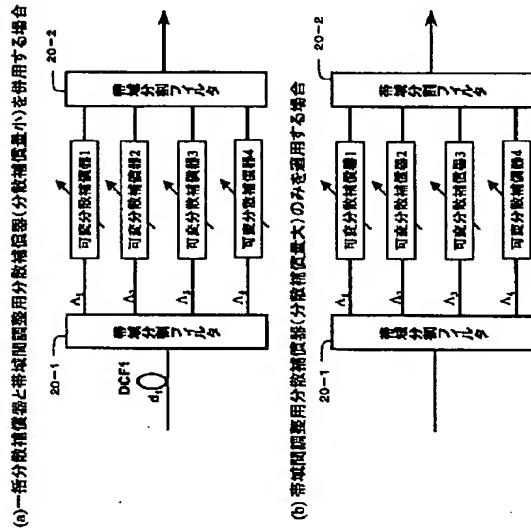
【図34】

可変分散補償器の例としての  
VIPA (Virtually Imaged Phased Array) を示す図



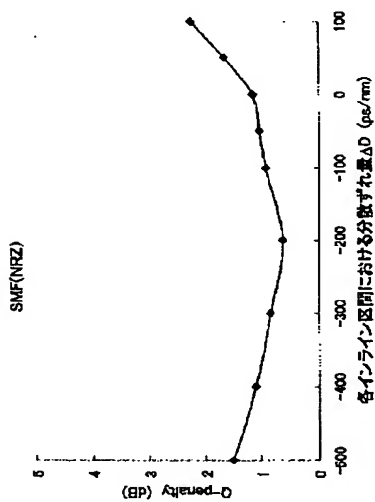
【図18】

図15に対応して、各波長帯域における固定分散補償器を可変分散補償器に置き換えた場合の構成を示す図



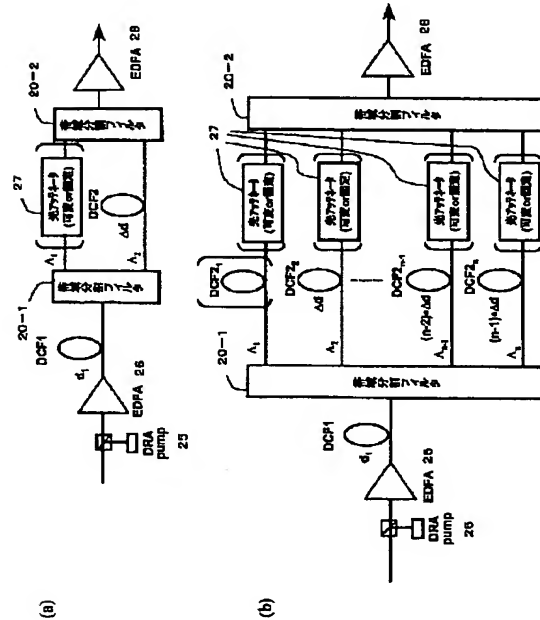
【図28】

SMF600km伝送において、受信端分散補償量を各場合で調節して残留分散を著にした場合の、インライン分散補償残量に対するQペナルティの特性を示す図



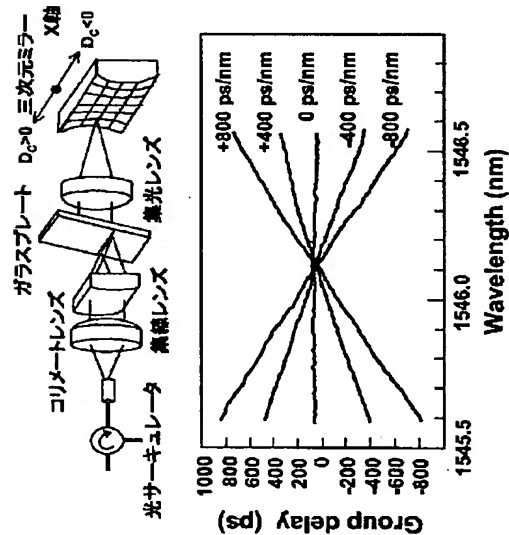
【図19】

波長帯域分割補償を行った場合の具体的なインライン中継器の構成例を示す図(その1)



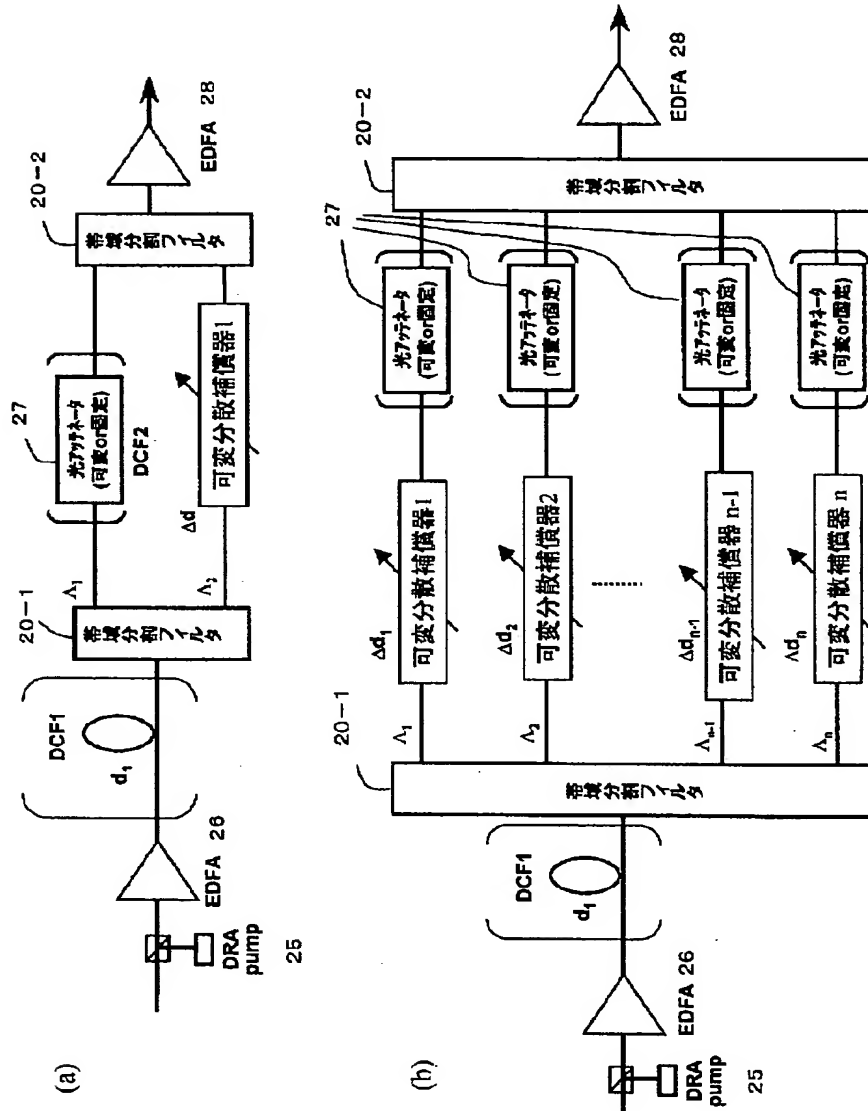
【図36】

VIPA可変分散補償器群遅延特性を示す図



【図20】

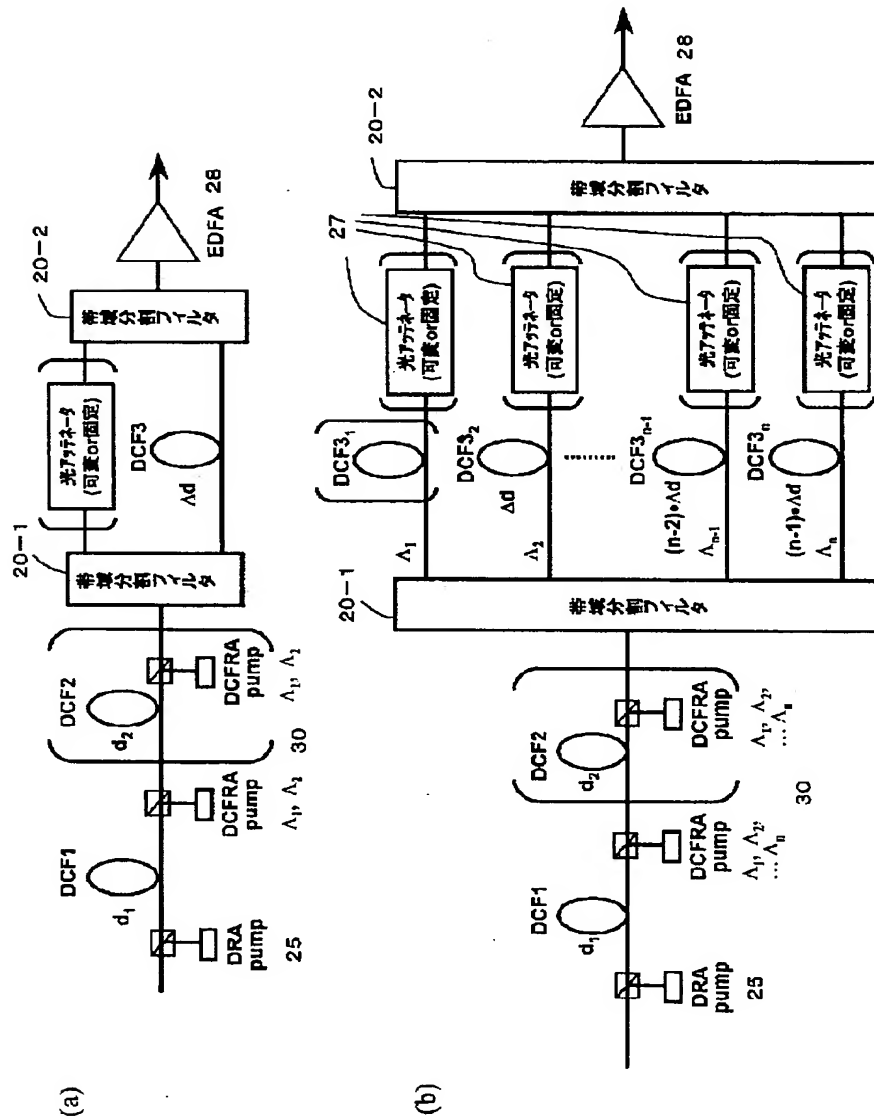
波長帯域分割補償を行った場合の  
具体的なインライン中継器の構成例を示す図(その2)





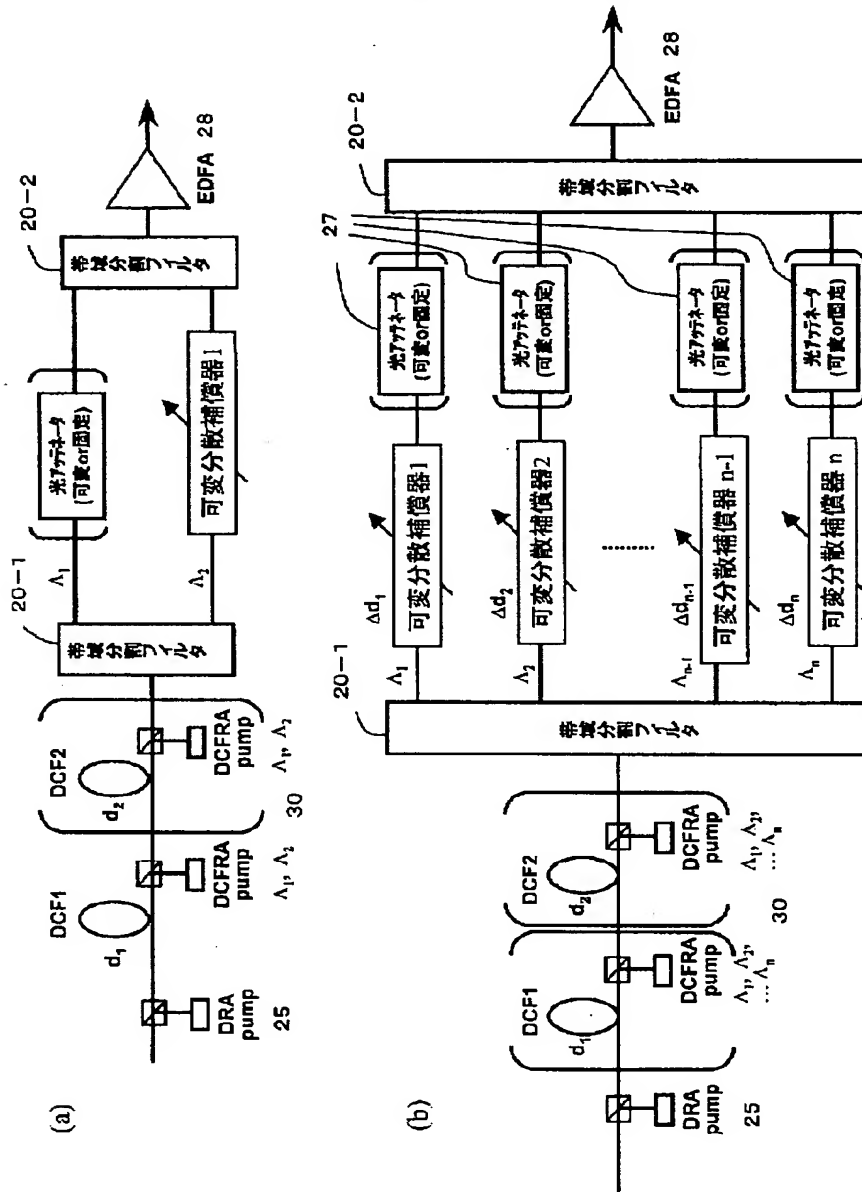
【図21】

波長帯域分割補償を行った場合の  
具体的なインライン中継器の構成例を示す図(その3)



【図22】

波長帯域分割補償を行った場合の  
具体的なインライン中継器の構成例を示す図(その4)



【図23】

波長帯域分割補償を行った場合の  
具体的なインライン中継器の構成例を示す図(その5)

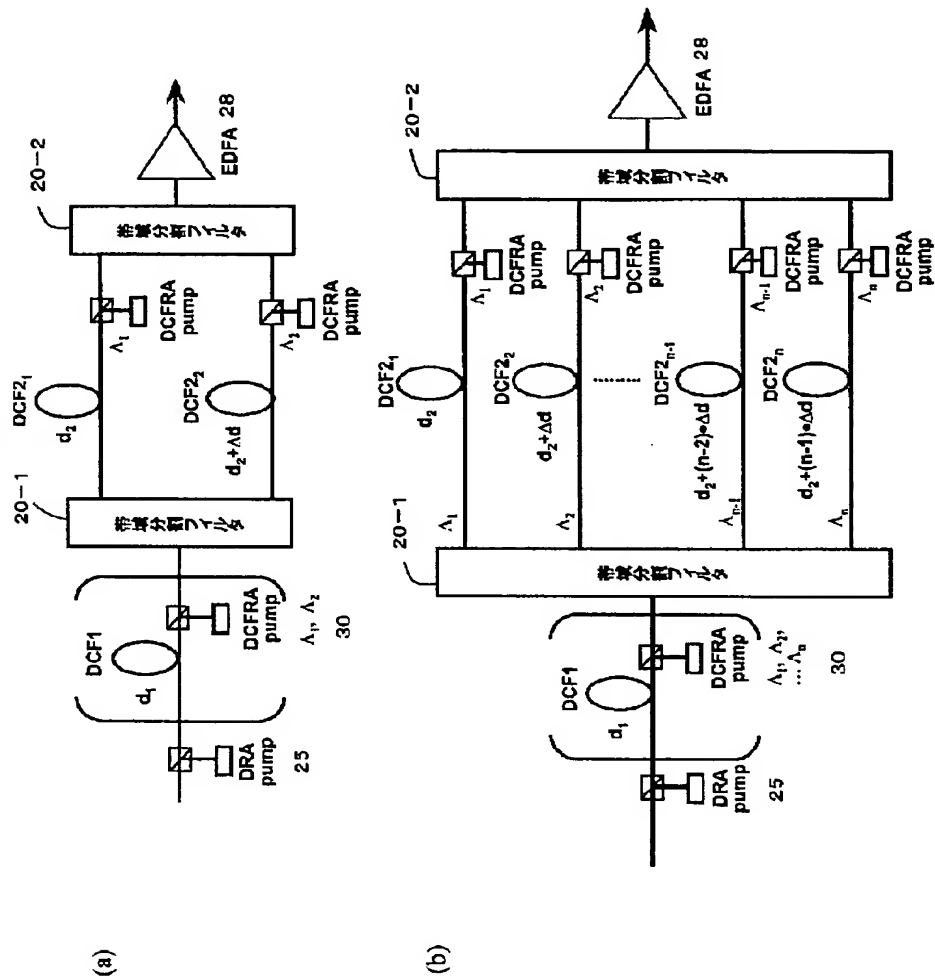
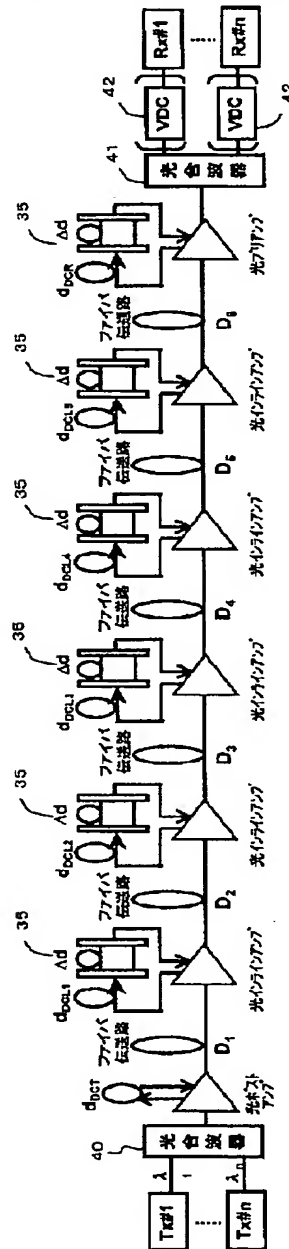
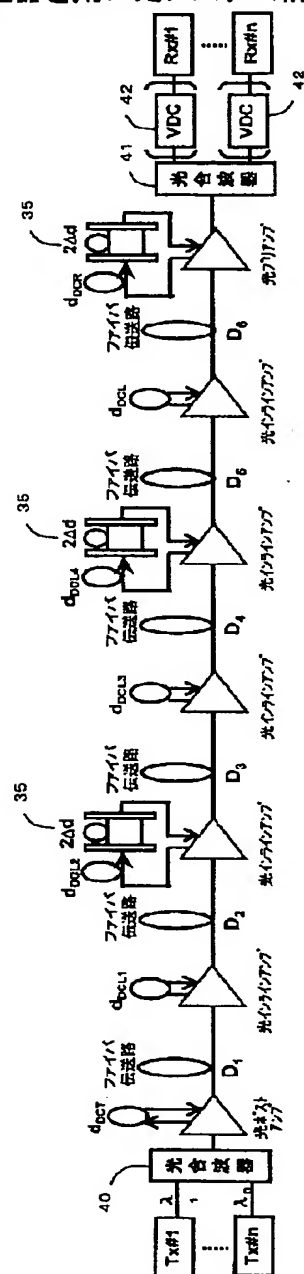


図19～図25で示した帯域分割補償を行う  
インライン中継器を用いたシステム構成例を示す図(その1)



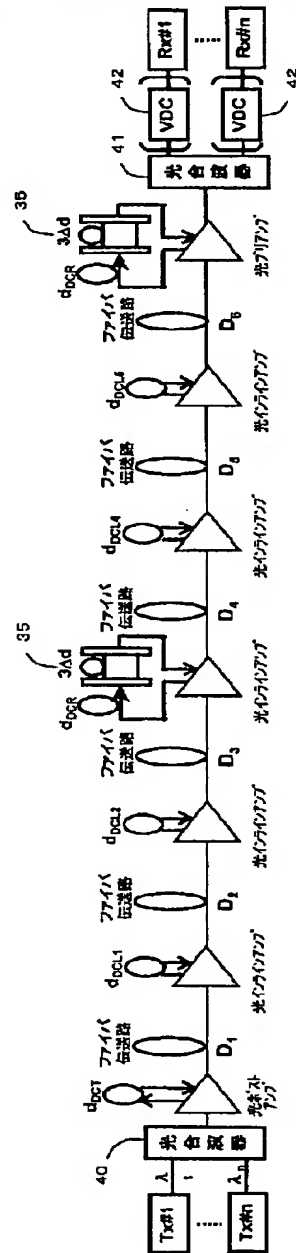
【図25】

図19～図25で示した帯域分割補償を行う  
インライン中継器を用いたシステム構成例を示す図(その2)



【図26】

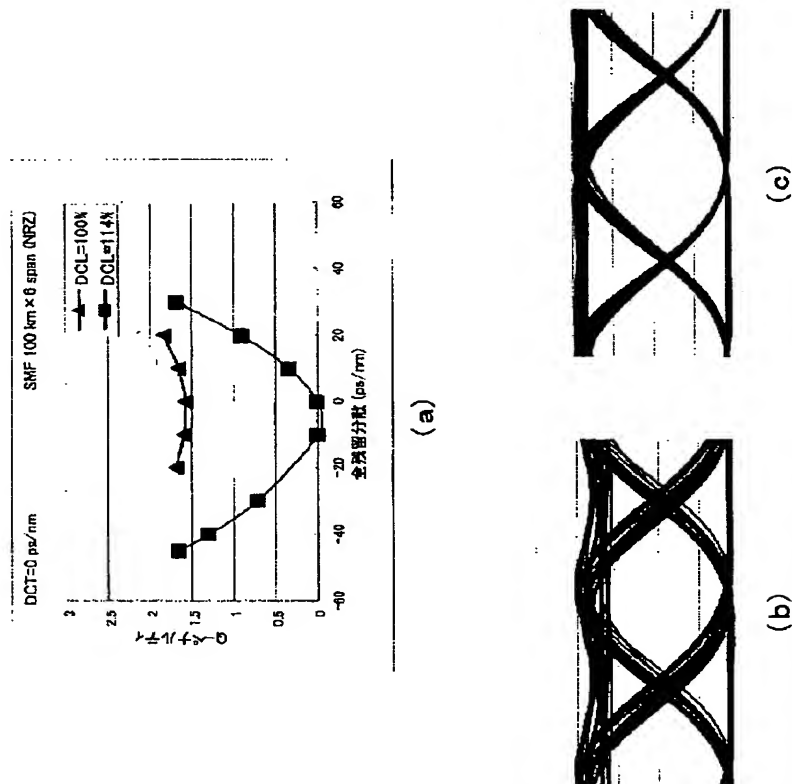
図19～図25で示した帯域分割補償を行う  
インライン中継器を用いたシステム構成例を示す図(その3)





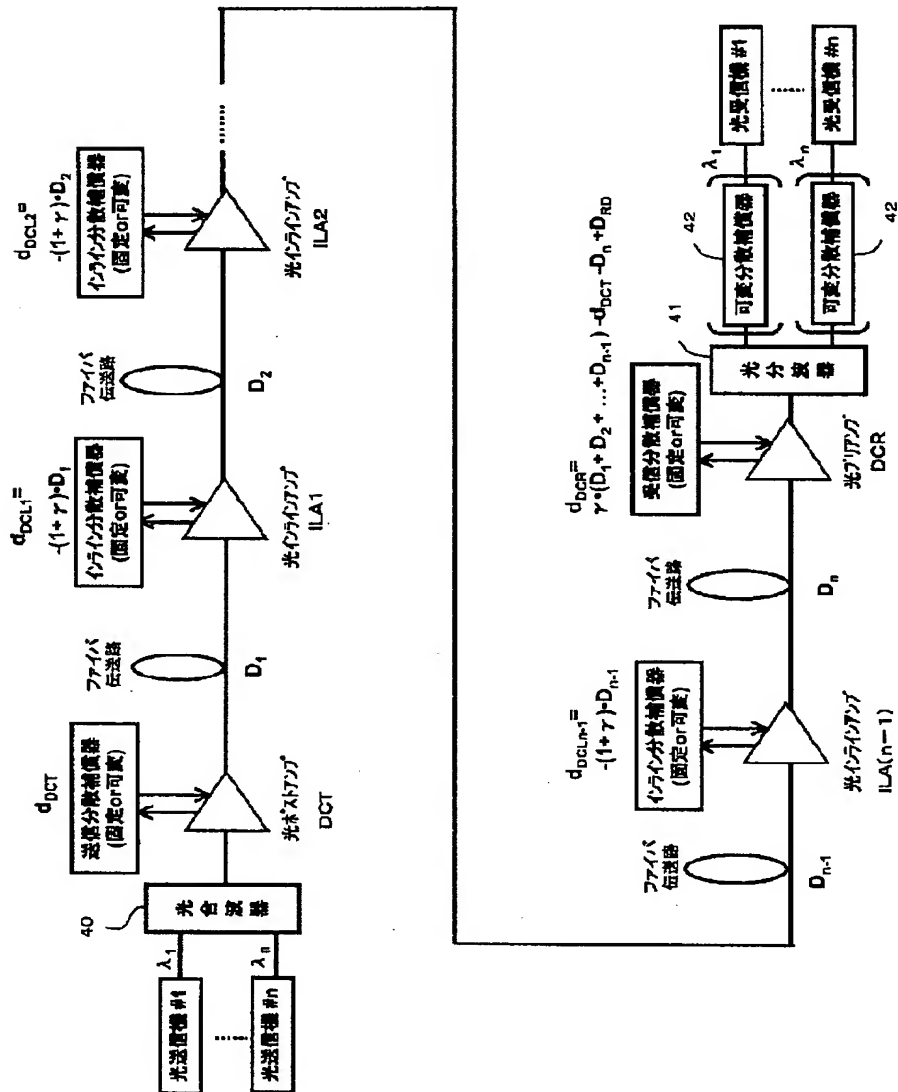
【図27】

SMF600km伝送において、  
 インラインの分散補償量DDCL=100%および  
 114%の場合での、残留分散に対するQペナルティを示す図



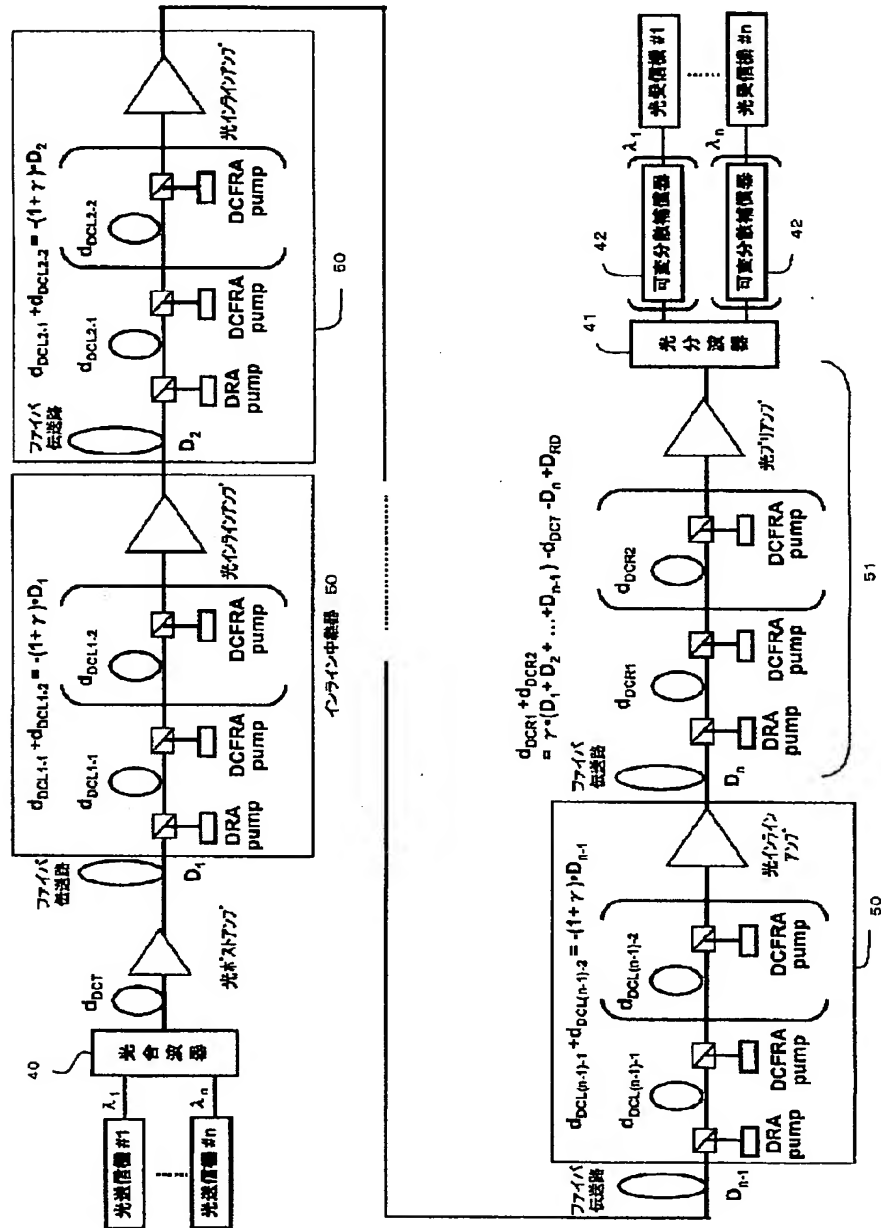
【図29】

インライン分散補償量の最適化に関する実施形態に  
対応する第1の構成例を示す図である図



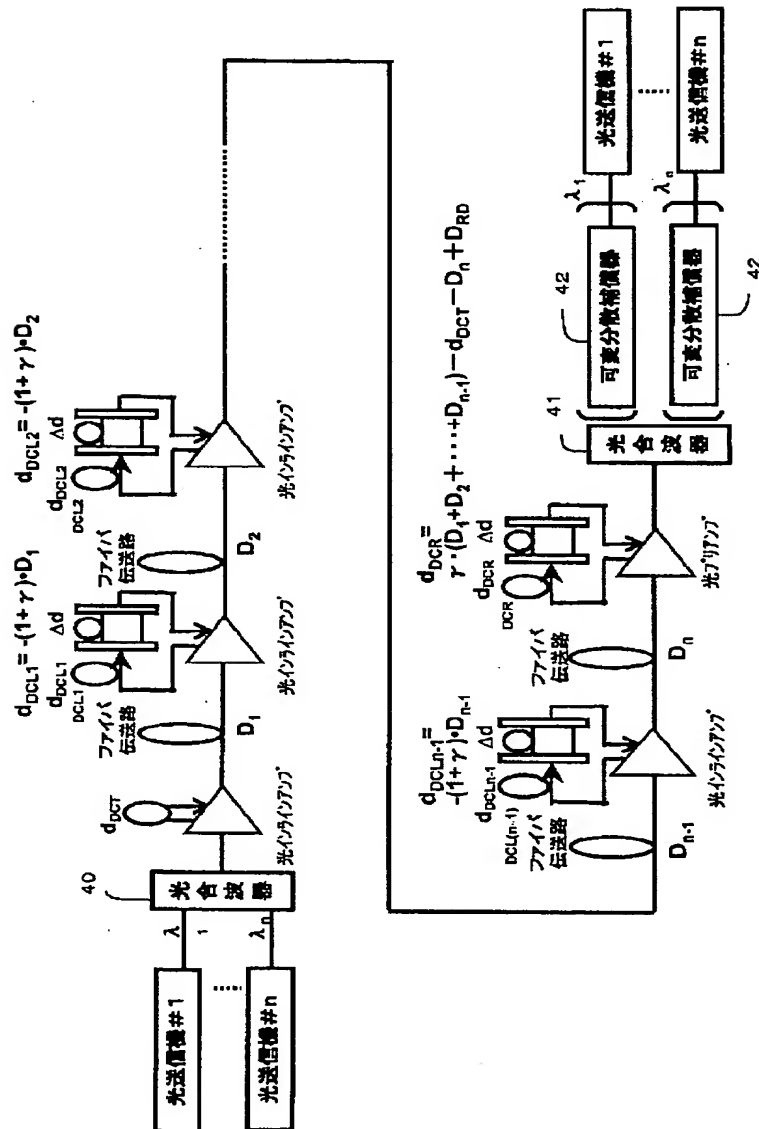
【図30】

図29の更に具体的な構成例の一つを示す図



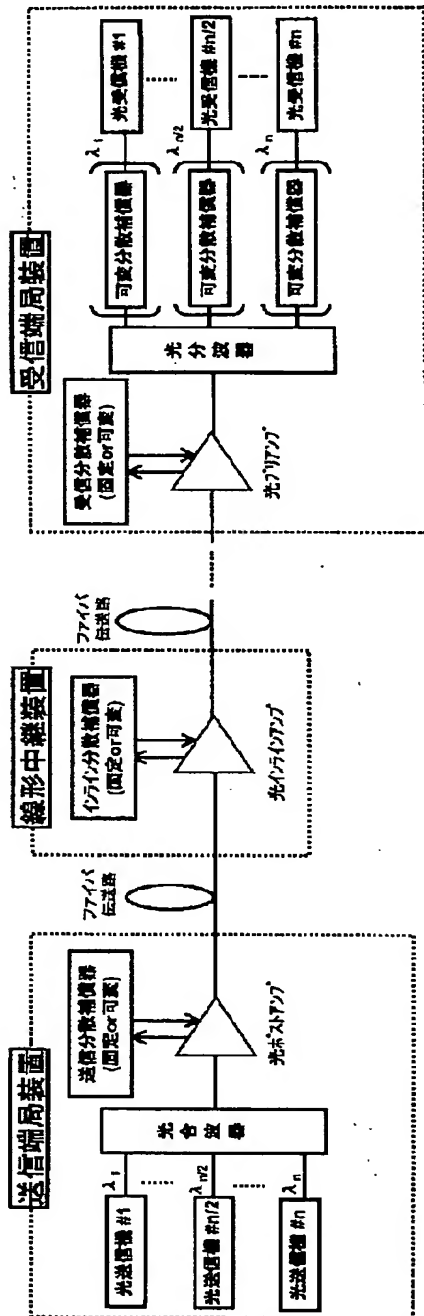
【図31】

帯域分割分散補償とインライン過補償の  
構成を合わせて実現する構成例を示す図



【図32】

## 波長多重伝送システムの構成例を示す図



【図33】

## 各種変動要因による伝送路波長分散量の変化を示す図

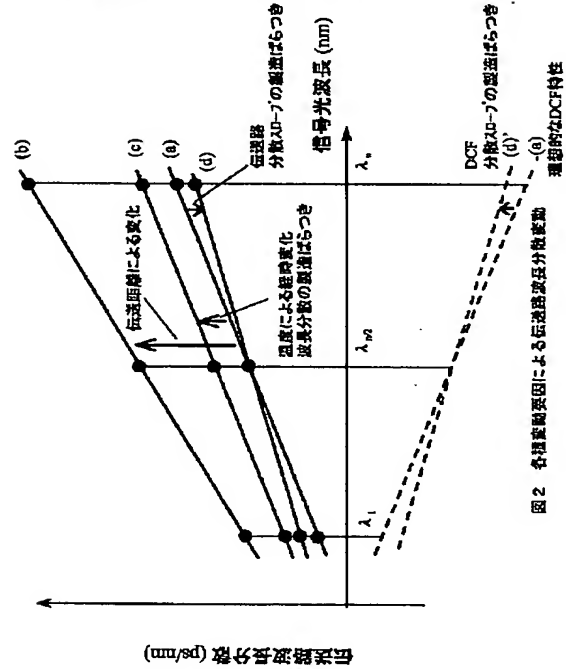
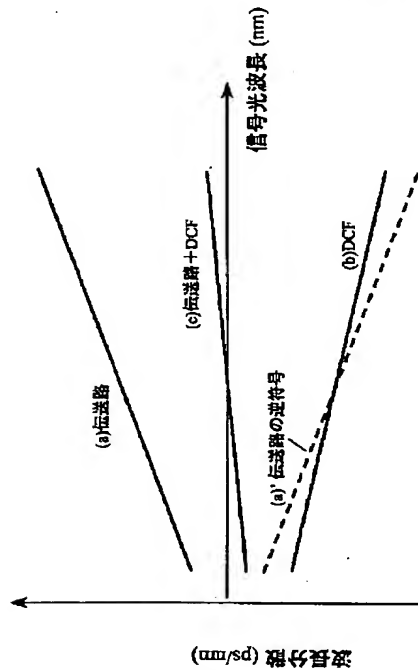


図2 各種変動要因による伝送路波長分散変動 理想的なDCF特性

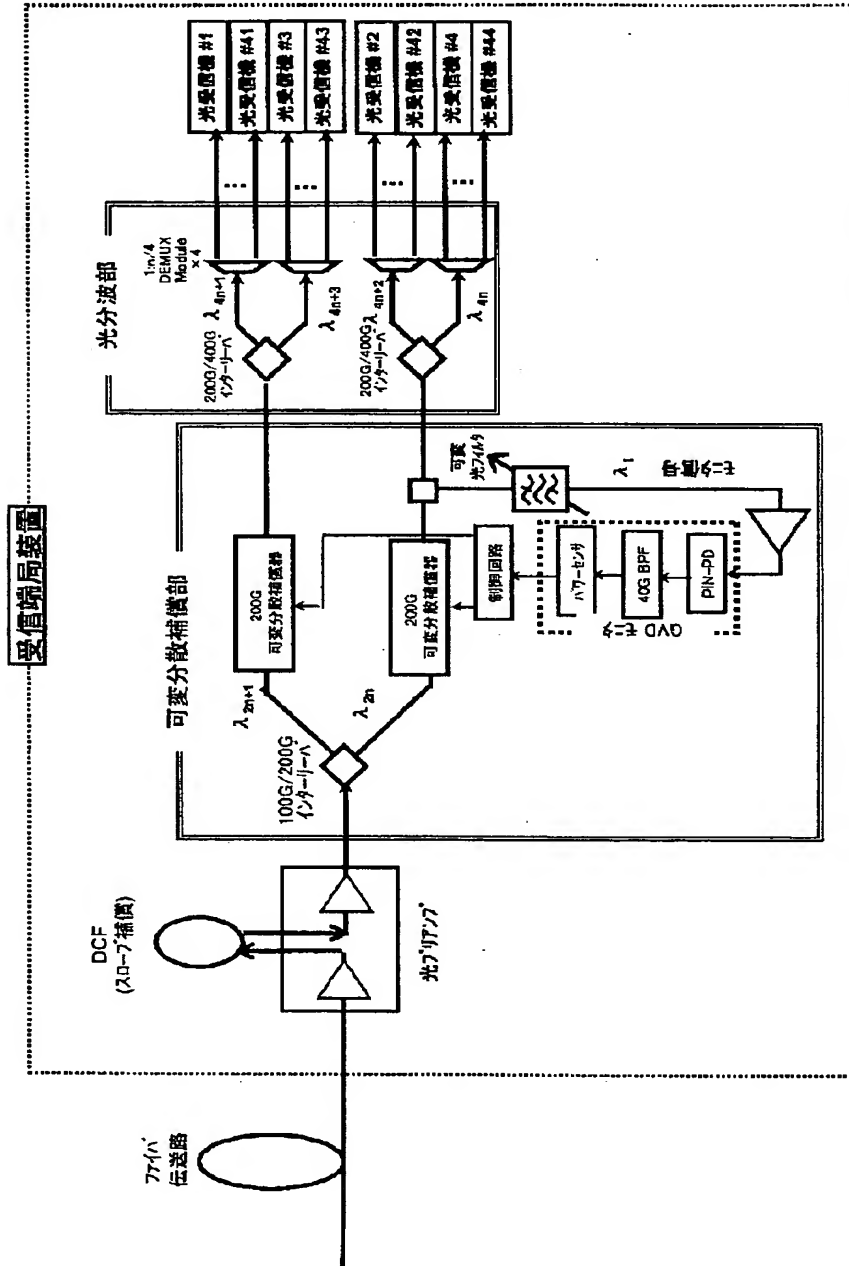
【図41】

## 分散スロープバラツキによる伝送路波長分散変動を示す図



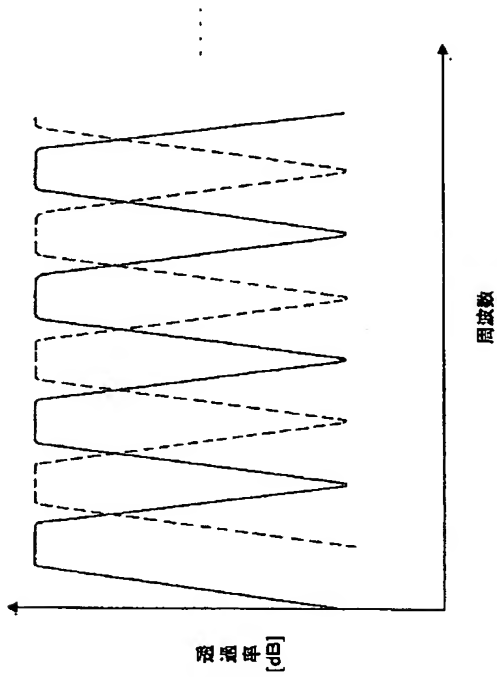
【図37】

従来技術の受信端局の構成例を示す図



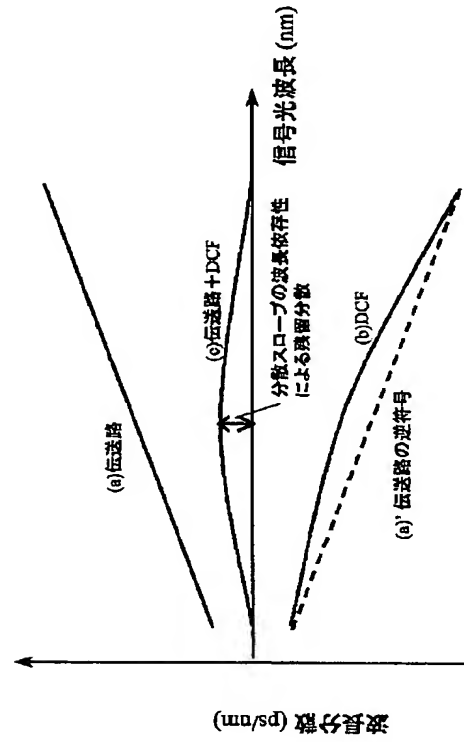
【図38】

インタリーバの動作を説明する図

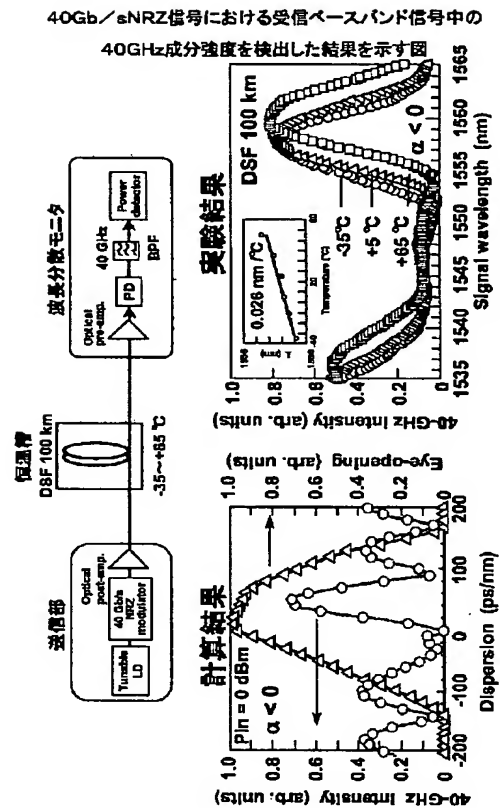


【図39】

ファイバ伝送路における分散特性の典型例を示す図



【図40】



フロントページの続き

- (72)発明者 岩渕 隆志  
北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1  
富士通東日本デジタル・テクノロジー株  
式会社内
- (72)発明者 寺原 隆文  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 熊迫 淳一  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

- (72)発明者 石川 丈二  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 高原 智夫  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内
- Fターム(参考) 5K102 AA01 AA03 AA10 AA11 AD01  
AD02 AH23 KA32 KA33 MA02  
MA03 MB01 MD06 MD07 MH03  
MH04 MH17 MH32 PA04 PC18  
PH11 PH13 PH14 PH42 PH47  
PH48